



Titre: Analyse des accidents sur le réseau routier municipal et
Title: identification des sites problématiques

Auteur: Juan Felix Soto Rodriguez
Author:

Date: 2014

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Soto Rodriguez, J. F. (2014). Analyse des accidents sur le réseau routier municipal
Citation: et identification des sites problématiques [Mémoire de maîtrise, École
Polytechnique de Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/1538/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/1538/>
PolyPublie URL:

**Directeurs de
recherche:** Nicolas Saunier, & Luis Miranda-Moreno
Advisors:

Programme: Génie civil
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ANALYSE DES ACCIDENTS SUR LE RÉSEAU ROUTIER MUNICIPAL ET
IDENTIFICATION DES SITES PROBLÉMATIQUES

JUAN FELIX SOTO RODRIGUEZ

DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE CIVIL)

AOÛT 2014

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

ANALYSE DES ACCIDENTS SUR LE RÉSEAU ROUTIER MUNICIPAL ET
IDENTIFICATION DES SITES PROBLÉMATIQUES

présenté par : SOTO RODRIGUEZ Juan Felix

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. TRÉPANIÉ Martin, Ph.D., président

M. SAUNIER Nicolas, Ph.D., membre et directeur de recherche

M. MIRANDA-MORENO Luis F., Ph.D., membre et codirecteur de recherche

M. BELLAVANCE François, Ph.D., membre

DÉDICACE

À mon père et ma mère.

REMERCIEMENTS

J'aimerais principalement remercier mes parents pour leur soutien, et de m'avoir montré la meilleure combinaison de noblesse, d'humilité, dur labeur, de respect et de compréhension. À toute ma famille, merci de m'avoir toujours appris à danser comme si personne ne regardait.

À mes amis et collègues: Francis Clément, merci de m'avoir conseillé et fait rire toutes ces années. Jean-Simon, Kinan, Alexandre, Arthur, Amir, Galo, Shaun et Hamze merci pour tous les cafés, bières, séances de gym et discussions existentielles durant nos pauses académiques. À tous mes amis dans le monde, sans vous, je ne serais sûrement pas ici.

À l'équipe de recherche INRS-Polytechnique, je vous remercie de m'avoir donné l'occasion d'avoir travaillé avec vous pour rendre possible le rapport « Projet pilote de diagnostic et plan d'action de sécurité routière en milieu municipal ».

Bien entendu, je remercie également mes directeurs d'études, Nicolas Saunier et Luis Miranda-Moreno d'avoir partagé leurs connaissances et leur savoir-faire avec moi, et surtout d'avoir pris le temps de m'écouter et d'avoir toujours été disponibles.

Merci à tous!

RÉSUMÉ

Le risque d'accident est composé de deux facteurs : la probabilité d'avoir un accident et la gravité de l'accident. Il existe beaucoup de littérature sur la sécurité routière dans un milieu urbain, mais très peu sur la sécurité routière dans les milieux ruraux et périurbains. Ces milieux sont caractérisés par un débit véhiculaire et un nombre d'accidents plus faible qu'en milieu urbain, mais également par un taux d'accidents graves plus élevé, ce qui rend l'analyse de risque d'un accident dans ces milieux aussi important que dans le milieu urbain.

Le réseau routier municipal du Québec est majoritairement présent dans les milieux ruraux et périurbains. Sa longueur représente 36 % de toutes les routes de la province, sur lesquelles se produisent 42 % des accidents avec décès ou blessés graves et 52 % des accidents impliquant des dommages corporels. Ces chiffres montrent qu'une réduction significative des accidents sur les routes du Québec ne peut pas être atteinte sans une amélioration de la sécurité sur le réseau routier municipal.

Au Québec, plusieurs diagnostics de sécurité routière municipale ont été effectués et sont en cours de réalisation pour améliorer la sécurité routière du milieu municipal. Ce mémoire présente une analyse de sécurité routière de la région d'Arthabaska, Québec, afin d'identifier les sites problématiques, ainsi qu'une analyse des tendances des accidents survenus dans la région. Ces objectifs seront atteints en suivant les étapes suivantes : (1) une expérimentation de regroupement des accidents survenus sur le réseau municipal entre 2007 et 2011 avec la méthode exploratoire des k-moyennes afin d'identifier les grands groupes d'accidents et leurs caractéristiques, (2) l'application des indices de sécurité routière les plus utilisés au Québec : la fréquence d'accident, l'indice de gravité et le taux d'accident de chaque site de la région, (3) l'application de la méthode bayésienne ainsi que la probabilité postérieure d'excès afin d'identifier les sites problématiques de la région et finalement, et (4) la proposition de pistes de solution pour améliorer la sécurité routière de la région en général et de certains sites problématiques.

La méthode des k-moyenne a permis de regrouper les accidents en 4 groupes : les accidents graves impliquant des cyclistes, les accidents à un seul véhicule sur les routes à vitesses élevées, les accidents impliquant deux véhicules ou plus à l'intérieur d'un périmètre urbain et, finalement, les accidents avec dommages matériels mineurs où les attributs ont souvent des valeurs manquantes. De plus, la comparaison entre les résultats des indices de sécurité routière et la

méthode bayésienne montre qu'un indice de sécurité utilisé seul n'arrive pas, la plupart du temps, à identifier un site problématique. D'autre part, les sites problématiques identifiés par les trois indicateurs et la méthode bayésienne ne sont pas nécessairement les sites les plus achalandés. Finalement, les caractéristiques telles que les passages piétons, le nombre de voies, la densité de population, une occupation agricole, et la géométrie semblent augmenter le risque d'un accident.

ABSTRACT

The risk of accidents occurring is composed of two factors: the probability of having an accident and the severity of the accident. There is much literature discussing road safety in urban areas, but very little literature exists on road safety in rural and semi-urban areas. Unlike the urban areas, these areas are characterized by low vehicle flows but a higher rate of severe accidents than their urban counterparts. This makes the risk of accident in such areas as important as urban areas.

The municipal road network in Québec is predominantly present in rural and sub-urban areas. Its length represents 36 % of all roads in the province and it accounts for 42 % of accidents with serious injuries or deaths and 52 % of accidents involving injury. These figures show that significant reduction in road accidents in Quebec cannot be achieved without improving safety on the municipal road network.

In Quebec, several municipal road safety studies have been conducted and are being conducted to improve the safety of municipal roads. This thesis presents a traffic safety analysis in the region of Arthabaska, Quebec, in order to improve the safety of the region and hot spots (sites considered dangerous to road users). These objectives will be achieved through the following steps : (1) a clustering of municipal accidents that occurred between 2007 and 2011 using the k-means algorithm to identify accident trends , (2) the application of the severity index, the accident frequency, and the accident rate which are the most widely used road safety indices in Québec, to every site (road segments and intersections) of the region, (3) the application of the Bayesian method and the method of posterior probability of excess to identify hot spots in the studied area and finally, and (4) the proposition of possible counter-measures for improving road safety in the region and for a certain number of hot spots. The accidents in the region were clustered using the k-means algorithm into 4 groups: a group of severe accidents involving cyclists, a group of single-vehicle accidents on high speed roads, a third group of accidents involving two or more vehicles within urban areas, and finally, a group of accidents with minor property damages where attributes often have missing values. In addition, the comparison between the results of the road safety indices and the results of the Bayesian method show that a security index alone cannot, most of the time, identify a hot spot. On the other hand, the hot spots identified by the three indices and the Bayesian method are not necessarily the sites with the most

traffic. Finally, site characteristics such as pedestrian crossings, number of lanes, population density, agricultural areas, and intersection geometry appear to increase the risk of an accident.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	III
REMERCIEMENTS	IV
RÉSUMÉ.....	V
ABSTRACT	VII
TABLE DES MATIÈRES	IX
LISTE DES TABLEAUX.....	XII
LISTE DES FIGURES.....	XV
LISTE DES SIGLES ET DES ABRÉVIATIONS	XVII
LISTE DES ANNEXES	XVIII
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Contexte et problématique	1
1.2 Portée et objectifs	1
1.3 Région à l'étude	3
1.4 Structure du document	5
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE	7
2.1 Sécurité dans un milieu rural et périurbain	7
2.2 Méthode d'exploration de données	9
2.3 Méthodes statistiques de sécurité routière.....	12
2.3.1 Analyse spatiale d'accidents	13
2.3.2 Indicateurs simples de sécurité.....	14
2.3.3 Approches bayésiennes	19
2.3.4 Analyse de gravité.....	25
2.4 Méthodes de classement des sites problématiques.....	25

2.5	Méthodes de collecte de données dans un milieu rural et périurbain.....	27
2.5.1	Comptages automatiques.....	30
2.5.2	Comptages manuels.....	31
2.6	Limites et critique des études précédentes	33
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE		35
3.1	Définition des entités à analyser.....	35
3.1.1	Le réseau routier	35
3.1.2	Accidents	41
3.2	Ensemble de données	42
3.2.1	Ensemble de données des accidents	42
3.2.2	Ensemble de données : carrefours	44
3.2.3	Ensemble de données : tronçons	48
3.3	Collecte de données.....	49
3.3.1	Outils pour la collecte de données.....	49
3.3.2	Test des outils de collecte sur le terrain	51
3.4	Préparation et exploration de données	57
3.4.1	Corrélation.....	64
3.4.2	Méthode des k-moyennes.....	65
3.5	Identification des sites problématiques	66
3.5.1	Méthode simple de sécurité routière	67
3.5.2	Méthode bayésienne.....	69
CHAPITRE 4 RÉSULTATS		72
4.1	Exploration de données et regroupement des accidents.....	72
4.2	Typologie des accidents : regroupement de l'algorithme des k-moyennes	90

4.3	Validation des bases de données	95
4.4	Méthode simple de sécurité routière	96
4.5	Méthode Bayésienne	100
4.5.1	Carrefours.....	100
4.5.2	Tronçons.....	101
4.5.3	Méthode Bayésienne – accidents avec des dommages corporels	103
4.5.4	Probabilité postérieure d’excès	104
4.6	Discussion	104
CHAPITRE 5 PISTES D’ACTION POUR AMÉLIORER LA SÉCURITÉ ROUTIÈRE		109
5.1	Pistes de solution pour la région	109
5.2	Pistes de solution pour les carrefours et les tronçons.....	113
CHAPITRE 6 CONCLUSION ET PERSPECTIVES		121
6.1	Synthèse	121
6.2	Conclusion.....	122
6.3	Limites.....	124
6.4	Perspectives et recommandations.....	125
BIBLIOGRAPHIE		127
ANNEXES		131

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1-1: Longueur du réseau routier de la MRC d'Arthabaska.....	5
Tableau 2-1: La gravité d'un accident définie par la SAAQ	16
Tableau 2-2: Type de données pour créer la SPF.....	28
Tableau 2-3: Choix de technique de comptages (PIARC, 2003)	30
Tableau 3-1: Catégories de routes du réseau municipal.....	35
Tableau 3-2: Nombre d'objets à analyser	41
Tableau 3-3: Gravité et nombre d'accidents survenus sur le réseau municipal de la MRC d'Arthabaska entre 2006 et 2011	42
Tableau 3-4: Variables descriptives des accidents ajoutées par l'équipe INRS-Polytechnique (Saunier et al., 2014)	43
Tableau 3-5: Type de données des attributs collectés dans l'ensemble de données complémentaires.....	46
Tableau 3-6: Différence des débits véhiculaires obtenus par les formulaires et les plaques de comptages.....	52
Tableau 3-7: Regroupement de tronçons pour la collecte de données	55
Tableau 3-8: Regroupement de carrefour pour la collecte de données	56
Tableau 3-9: Regroupement pour la variable « type d'impact »	60
Tableau 3-10: Discrétisation de la variable « saison ».....	61
Tableau 3-11: Création de la variable proximité du carrefour à partir de la variable intégrée, Dist_InterstPProche.....	61
Tableau 3-12: Catégories conservées des variables à analyser de l'ensemble de données des accidents	62
Tableau 3-13: Corrélation entre le type de gravité et le nombre de personnes avec blessures légères, ou graves et le nombre de personnes décédées	65

Tableau 3-14: Limite supérieure du nombre acceptable d'accident, c , pour l'identification des sites problématiques	71
Tableau 4-1: Moyenne par jour sur 5 ans du nombre total d'accidents et du nombre d'accidents mortel et grave (MG) selon le type de jour de semaine	85
Tableau 4-2: Nombre d'accidents par saison	85
Tableau 4-3: Répartition des accidents selon la période de la journée	88
Tableau 4-4: Répartition du nombre d'accidents selon l'âge des conducteurs.....	90
Tableau 4-5: Explication de lecture du Tableau 4-6	91
Tableau 4-6: Description détaillée des groupes d'accidents (en pourcentages)	92
Tableau 4-7: Moyenne des débits véhiculaires (en véh/h) des groupes de sites	97
Tableau 4-8: Nombre de sites (tronçons et carrefours) problématiques selon les tests sur chaque indicateur	98
Tableau 4-9: Correspondance des tronçons détectés comme problématiques par les tests sur les différents indicateurs	99
Tableau 4-10: Correspondance des carrefours détectés comme problématiques par les tests sur les différents indicateurs	99
Tableau 4-11: Paramètres de la SPF pour tous les accidents aux carrefours	100
Tableau 4-12: Paramètres de la SPF pour tous les accidents aux tronçons.....	102
Tableau 4-13: Paramètres de la SPF pour les accidents corporels aux carrefours	103
Tableau 4-14: Classification des carrefours problématiques	104
Tableau 4-15: Classification des tronçons problématiques.....	104
Tableau 4-16: Correspondance entre les indicateurs de la méthode simple de sécurité routière et la méthode bayésienne pour les carrefours	107
Tableau 4-17: Correspondance entre les indicateurs de la méthode simple de sécurité routière et la méthode bayésienne pour les tronçons	108

Tableau 5-1: Pistes de solutions pour la typologie des accidents identifiés par l'algorithme des k-moyennes (Roess et al., 2004).....	110
---	-----

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1: Localisation de la région à l'étude	4
Figure 2-1: Classification fonctionnelle des routes et ses critères (tiré de (Bass, 2007))	7
Figure 2-2: Algorithme des k-moyennes	12
Figure 2-3: Méthode d'identification des sites potentiellement problématiques du projet pilote du MTQ dans la MRC de Roussillon (GEOMONT, 2011)	17
Figure 2-4: Régression vers la moyenne (adapté de (AASHTO, 2010))	18
Figure 2-5: Sites problématiques définis par la limite c (tiré de (Miranda-Moreno, 2011))	27
Figure 2-6: Compteurs mécaniques (PIARC, 2003)	32
Figure 2-7: Compteur électronique (PIARC, 2003)	32
Figure 3-1: Typologie des routes proposée	37
Figure 3-2: Effet d'un terre-plein dans la création des carrefours	38
Figure 3-3: Effet d'une baie de virage dans la création des carrefours	39
Figure 3-4: Différence entre un croisement et un carrefour	40
Figure 3-5: Représentation des tronçons	40
Figure 3-6: Modèle conceptuel du sous-ensemble de carrefours	45
Figure 3-7: Exemple d'un écran de l'interface graphique d'entrée des attributs des approches, avec des exemples d'attributs catégoriels et binaires	47
Figure 3-8: Exemple de saisie des attributs d'une approche d'un carrefour	48
Figure 3-9: Plaques magnétiques ancrées au sol (Source : collecte de données, 2013)	50
Figure 3-10: Installation des cônes orange lors des fermetures de voies (Source : collecte de données, 2013)	50
Figure 3-11: Enrichissement de la variable vitesse des accidents	58
Figure 3-12: Classification ascendante hiérarchique des accidents de la MRC	66
Figure 4-1: Localisation des accidents dans la région d'étude selon l'autorité responsable	73

Figure 4-2: Type d'accident selon la localisation de l'accident	78
Figure 4-3: Répartition des accidents selon le type d'impact (A., 2 véh.=Autres, deux véhicules, A.,1 véh.=Autres, un seul véhicule, Ch.v.=Changement de voie, Gau. opp.=Gauche opposant, Véh. Seul=véhicule seul, et N.P.=Non précisée).....	79
Figure 4-4: Répartition des accidents selon le facteur d'accident (Comp.=Comportement, Man./con. Illégale=Manœuvre/conduite illégale, Cond. Ext.= Conditions extérieures et Infra.=Infrastructure).....	80
Figure 4-5: Répartition des accidents selon l'affectation du sol.....	81
Figure 4-6: Répartition des accidents selon le nombre de véhicules impliqués.....	82
Figure 4-7: Répartition des accidents selon la vitesse affichée.....	83
Figure 4-8: Répartition des accidents selon le type de véhicule	84
Figure 4-9: Répartition des accidents selon le jour de semaine (Lun.=Lundi, Mar.=Mardi, Mer.=Mercredi, Jeu.=Jeudi, Ven.=Vendredi, Sam.=Samedi et Dim.=Dimanche)	86
Figure 4-10: Répartition des accidents selon le mois de l'année (Bleu : Hiver, Jaune : Printemps, Rouge : Été, Vert : Automne).....	87
Figure 4-11: Répartition des accidents selon l'origine des conducteurs	89
Figure 5-1: Diagnostic de sécurité routière du carrefour de la rue Saint-Denis et le boulevard Labbé à Victoriaville	114
Figure 5-2: Diagnostic de sécurité routière du carrefour du chemin Craig et le Rang Hince à Chesterville.....	115
Figure 5-3: Diagnostic de sécurité routière du carrefour du boulevard Pie X et le boulevard Leon-Couture à Saint-Christophe d'Arthabaska	116
Figure 5-4: Diagnostic de sécurité routière de la rue Laurier Ouest à Victoriaville	117
Figure 5-5: Diagnostic de sécurité routière du rang Saint-François à Saint-Louis de Blandford	118
Figure 5-6: Diagnostic de sécurité routière du 8 ^e rang à Saint Albert.....	119
Figure 5-7: Diagnostic de sécurité routière de la route Pouliot à Saint-Christophe d'Arthabaska	120

LISTE DES SIGLES ET DES ABRÉVIATIONS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials (<i>Association américaine des administrateurs d'autoroutes d'état et du transport d'État</i>)
AIC	Akaike Information Criterion (<i>Critère d'information Akaike</i>)
AQ	Adresses Québec
CAH	Classification ascendante hiérarchique
DJMA	Débit journalier moyen annuel
EB	Empirical Bayes (<i>Bayes Empirique</i>)
GNB	Generalized Negative Binomial (<i>Binomial négatif généralisé</i>)
IHSMD	Interactive Highway Safety Design Model (<i>Modèle de design interactif de sécurité des autoroutes</i>)
LOSS	Level of Service of Safety (<i>Niveau de service de sécurité</i>)
MRC	Municipalité régionale de comté
MTQ	Ministère des Transports du Québec
NB	Negative Binomial (<i>Binomial négative</i>)
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
RSI	Relative Safety Index (<i>Indice de sécurité relative</i>)
SAAQ	Société de l'assurance automobile du Québec
SIG	Système d'information géographique
SPF	Safety Performance Function (<i>Fonction de performance de sécurité</i>)
ZINB	Zero Inflated Negative Binomial (<i>Binomial negative gonflé à zéro</i>)
ZIP	Zero Inflated Poisson (<i>Poisson gonflé à zéro</i>)

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Variables descriptives des accidents disponibles	131
Annexe 2: Variables descriptives des carrefours	137
Annexe 3: Variables descriptives des tronçons	139
Annexe 4: Regroupement des variables des accidents.....	141
Annexe 5: Corrélation de variables des accidents.....	145
Annexe 6: Planche de fermeture	146
Annexe 7: Formulaire de collecte de données	147
Annexe 8: Corrélation entre attributs des sites.....	151
Annexe 9: Validation de la méthode bayésienne avec des débits véhiculaires.....	152

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

1.1 Contexte et problématique

Le réseau routier du Québec comprend environ 285 600 km de routes, dont 103 000 km de routes, rues et chemins locaux qui sont gérés par les municipalités (MTQ, 2014). Ce réseau municipal, majoritairement présent dans les milieux ruraux et périurbains, est le lieu d'une proportion importante des accidents de la route au Québec : 42 % des accidents mortels ou blessés graves et 52 % des accidents impliquant des dommages corporels (MTQ, 2014).

« Le réseau municipal québécois est constitué de rues locales qui peuvent avoir des fonctions très différentes, dans des environnements très variés (une zone urbaine, agricole, semi-urbaine). C'est un réseau adapté à des déplacements plus courts, à une circulation locale, un réseau relativement long sur lequel les accidents sont donc très dispersés (Saunier, 2012). » Le réseau routier municipal représente alors un défi pour l'analyse de la sécurité routière en raison de la dispersion spatiale relativement importante des accidents et de la diversité des usagers et des débits véhiculaires qu'on y retrouve, particulièrement entre les milieux urbanisés et ruraux.

1.2 Portée et objectifs

Pour mieux comprendre les problématiques du réseau municipal et améliorer la sécurité routière, le projet porte sur l'analyse des accidents survenus sur le réseau municipal durant une période de temps donnée et vise, entre autres, à identifier les sites problématiques du réseau. Le projet porte aussi sur des pistes de solution à notre disposition et spécifiques au vaste réseau municipal de la province du Québec.

Afin d'analyser les accidents survenus sur un réseau, une méthode de regroupement, l'algorithme des k-moyennes, est utilisée pour identifier et comprendre les tendances temporelles des accidents du réseau à l'étude.

Des méthodologies traditionnelles reposant directement sur les accidents ont longtemps été utilisées pour détecter des sites problématiques : la fréquence d'accident, qui consiste à additionner le nombre d'accidents survenus sur un site, le taux d'accident, qui est un ratio entre le nombre d'accidents et une mesure d'exposition, et l'indice de gravité qui attribue un poids différent à chaque niveau de gravité (PIARC, 2003). Des méthodologies alternatives ont aussi été

proposées pour identifier les sites problématiques, telles que les systèmes d'information géographique (Erdogan et al., 2008), l'observation et l'analyse des interactions entre les usagers de la route (Saunier & Sayed, 2007), l'indice de sûreté formulé par une combinaison de plusieurs composantes de risque telles que l'exposition des usagers aux accidents, la probabilité qu'un accident se produise et les conséquences suite à l'accident (Cafiso et al., 2007) et l'autocorrélation spatiale qui consiste à évaluer la mesure dans laquelle les accidents survenus à un emplacement donné est liée aux accidents survenus à des emplacements contigus (Flahaut et al., 2003). Cependant, le consensus général pour identifier les sites problématiques est d'utiliser la méthode bayésienne empirique (EB) (Miranda-Moreno & Fu, 2006) (Cheng & Washington, 2005) (Hauer et al., 2002b). Même si le modèle EB semble le plus précis, acceptable et adaptable, de nombreux pays utilisent encore des méthodes naïves et risquent d'entraîner des inexactitudes importantes (Elvik, 2008).

Ce travail a été fait dans le cadre du projet pilote « Diagnostic et plan d'action de sécurité routière en milieu municipal » mené par une équipe de recherche de Polytechnique Montréal et l'Institut national de la recherche scientifique (INRS) pour le ministère des Transports du Québec (MTQ) visant l'application d'une méthode de diagnostic de la sécurité routière dans la municipalité régionale de comté (MRC) d'Arthabaska située dans la province de Québec, au Canada (Saunier et al., 2014). Ainsi, ce mémoire repose partiellement sur la méthodologie de ce projet afin d'atteindre les objectifs suivants :

1. Identifier les caractéristiques des accidents de la MRC d'Arthabaska;
2. Analyser les accidents de la MRC en identifiant des groupes d'accidents similaires avec la méthode des k-moyennes;
3. Implémenter les indicateurs de sécurité les plus utilisés : la fréquence d'accident, le taux d'accident, l'indice de gravité ainsi que la probabilité postérieure d'excès qui se base sur la méthode bayésienne pour identifier des sites problématiques ;
4. Prioriser les sites problématiques ;
5. Proposer des solutions et des aménagements pour améliorer la sécurité routière.

1.3 Région à l'étude

Au Québec, les écarts de température peuvent atteindre jusqu'à 25 °C en quelques heures et les précipitations atteignent 1 000 mm par année. De plus, pendant plus de quatre mois de l'année, le sol peut geler à des profondeurs allant jusqu'à 3 m. Selon le MTQ, après avoir résisté à la déformation due au gel, les routes doivent aussi être en mesure de supporter des charges importantes en période de dégel même avec une résistance de chaussée réduite de 40 %. Ces circonstances rendent la comparaison des routes du Québec avec celles d'autres pays ou régions un travail difficile (MTQ, 2014).

Le territoire d'étude choisi est la MRC d'Arthabaska qui est située dans la région du Centre-du-Québec sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent (voir Figure 1-1). Elle est délimitée au nord par la MRC de Bécancour, à l'est par la MRC de l'Érable, au sud par la MRC de Drummond et à l'ouest par la MRC de Nicolet-Yamaska. La MRC d'Arthabaska regroupe 23 municipalités qui totalisaient 69 237 habitants en 2011, une croissance de 4,5 % par rapport à 2006. Victoriaville se distingue avec 43 160 habitants, plus de 60 % des résidents de la MRC, et ses principales sources d'emploi sont les secteurs du commerce et de la santé. De plus, Victoriaville est le seul endroit dans la région où l'enseignement supérieur est disponible, et où les habitants peuvent recevoir des soins de santé spécialisés. Grâce à sa situation centrale et à ses services, de nombreux conducteurs de la région se rendent à Victoriaville quotidiennement (Statistique Canada, 2014).

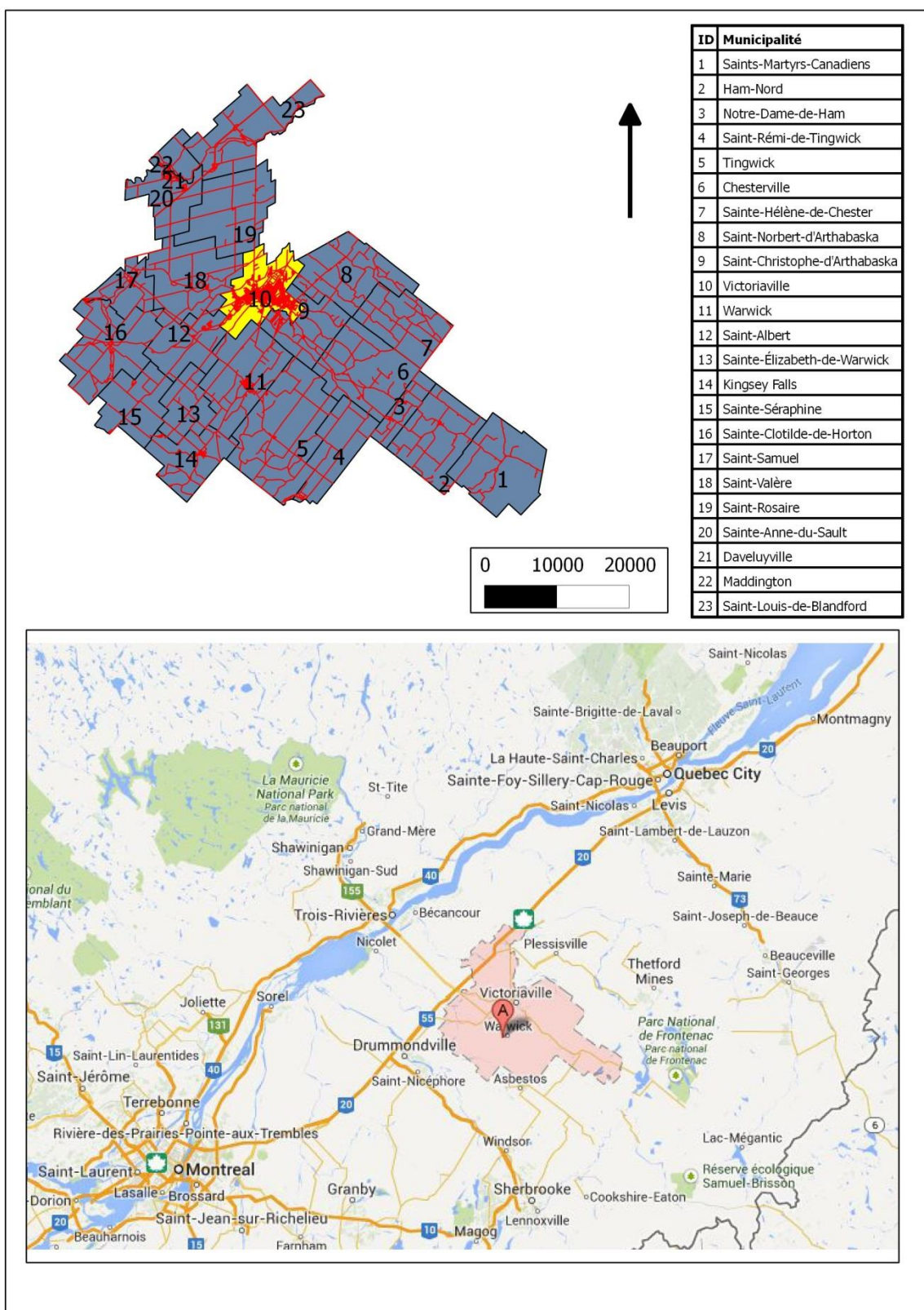


Figure 1-1: Localisation de la région à l'étude

Le réseau routier de la MRC, sous l'autorité du MTQ et sous autorité municipale, est composé d'environ 1 927 km de routes, dont 79,20 % qui sont pavées¹ comme montré dans le Tableau 1-1. Les routes sous l'autorité du MTQ sont les routes de type autoroutes, nationales, régionales et collectrices nationales, tandis que les routes sous autorité municipale sont de type collectrices municipales, artères urbaines, locales urbaines et locales rurales.

Tableau 1-1: Longueur du réseau routier de la MRC d'Arthabaska

Autorité responsable	Longueur (km)	Proportion de routes pavées (%)
MTQ	4 16,15	99,32
Municipale	1 510,45	76,70
Total du réseau routier	1 926,60	79,20

1.4 Structure du document

Ce document est divisé en six chapitres qui relatent le processus de recherche à partir d'une revue de littérature portant sur le thème de la sécurité routière, d'une caractérisation générale de la région à l'étude, de la méthodologie appliquée jusqu'aux résultats de la recherche et de la conclusion.

Le présent chapitre a présenté de manière générale le contexte et la problématique du réseau municipal, ainsi que la portée et les objectifs du projet. De plus, une description générale du réseau routier de la région à l'étude est présentée.

Dans le chapitre 2, le thème de la sécurité routière en milieu rural et périurbain est abordé. Les enjeux, causes et défis des analyses de sécurité routière dans ces milieux sont examinés en profondeur, ainsi que les étapes d'une exploration de données, la méthode des k-moyennes, des méthodes statistiques de sécurité routière, et des méthodes de collecte de données. Finalement, une critique des études précédentes portant sur les milieux ruraux et périurbains est faite.

Le chapitre 3 décrit d'abord les objectifs et hypothèses du projet. L'origine des données utilisées ainsi que les différentes manipulations à effectuer pour préparer les données à l'analyse sont expliquées, tout comme les méthodes employées lors des analyses.

¹ Une route pavée est une route où au moins 80 % de sa longueur est pavée.

Le chapitre 4 traite la préparation des données et les résultats obtenus. En premier lieu, la préparation de données visant le regroupement des valeurs de plusieurs variables tirées des rapports de police décrivant les accidents sont dépeints. Ensuite, le regroupement des accidents effectué avec l'algorithme des k-moyennes est également présenté. Enfin, les résultats des indicateurs de sécurité normalement utilisés dans la pratique sont comparés avec les résultats de la méthode EB.

Le chapitre 5 propose des pistes de solution au réseau municipal de la région d'étude afin d'améliorer la sécurité routière. Les pistes de solution proposées sont présentées à deux niveaux : pour l'ensemble de la région et pour un sous-ensemble de sites problématiques.

Le dernier chapitre aborde les conclusions, les limites du projet, et termine en proposant d'autres recherches dont les conclusions pourraient améliorer la sécurité routière et valider la méthodologie utilisée.

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

Ce chapitre consiste en une revue de littérature qui aborde les principales problématiques des milieux ruraux et périurbains, des concepts importants liés à la sécurité routière et des méthodologies à considérer lors d'un diagnostic de sécurité routière.

2.1 Sécurité dans un milieu rural et périurbain

En avril 1993, le gouvernement du Québec a revu le partage des responsabilités en matière de voirie locale, ce qui a permis de catégoriser et regrouper les différentes routes selon leur fonction et importance. Il s'agit de hiérarchiser les routes les unes par rapport aux autres. Cette classification se base sur 6 critères : le type de circulation, le débit véhiculaire, le type d'écoulement (mobilité), la vitesse permise sur la route, les types de véhicules utilisant la route, et les accès aux propriétés (MTQ, 2000). La classification fonctionnelle des routes se regroupe en quatre catégories : routes locales, routes collectrices, artères urbaines et autoroutes. La Figure 2-1 montre comment les critères changent selon la classification fonctionnelle et l'autorité responsable de chaque classification fonctionnelle. En effet, lorsque la mobilité augmente, la vitesse (V) et le débit véhiculaire (Q) augmentent et l'accès aux propriétés diminue.

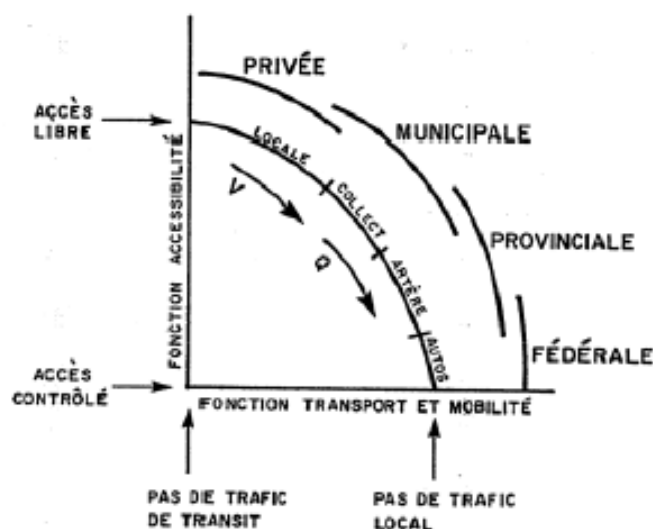


Figure 2-1: Classification fonctionnelle des routes et ses critères (tiré de (Bass, 2007))

Les milieux ruraux et périurbains ont une proportion plus importante de routes à faible débit que le milieu urbain. L'*American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) définit une route à faible débit comme une route dotée d'une classification fonctionnelle locale et ayant un débit journalier moyen annuel (DJMA) de 400 véhicules ou moins. La fonction principale d'une route locale est de fournir un accès aux résidences, fermes, entreprises, et propriétés avoisinantes, plutôt que de servir directement à la circulation en transit (Cook, 2010).

La sécurité routière est définie par l'absence d'accidents, et comme indicateur par l'espérance du nombre d'accidents par catégorie (i.e., arrière, angle droit, frontal, etc.) pour un site donné et un laps de temps donnés. Le risque d'un accident est composé de deux facteurs importants : la probabilité d'avoir un accident et la gravité de l'accident (Hauer et al., 1988). Il existe beaucoup de littérature sur la sécurité routière dans un milieu urbain, mais bien moins sur la sécurité routière des milieux ruraux et périurbains qui sont caractérisés par un débit plus faible que dans un milieu urbain, mais un taux d'accidents graves plus élevé (Dell'Acqua & Russo, 2011) (Cook, 2010) (Quiros, 2003) (Kmet & Macarthur, 2006) (Souleyrette, 2010). Ces travaux attestent qu'il existe aussi un risque d'accident dans les milieux ruraux et périurbains même si ces milieux ont un débit véhiculaire plus faible que le milieu urbain.

Cependant, même si les caractéristiques des véhicules, des routes et les conditions extérieures peuvent influencer la sécurité comme mentionné précédemment, l'erreur humaine est le facteur le plus fréquent (Dell'Acqua & Russo, 2011). Les conducteurs ont tendance à se sentir en sécurité dans un milieu rural et périurbain, car les routes sont moins achalandées, et ils oublient qu'ils doivent partager la route avec des véhicules agricoles, des animaux et des cyclistes (Quiros, 2003). De plus, ils ont tendance à conduire à des vitesses excessives puisque le contrôle de la vitesse est laxiste, les routes ont un faible débit et la présence des zones agricoles et des arbres influencent leur vitesse (Quiros, 2003) (Goldenbeld & van Schagen, 2007). Cette vitesse excessive fait augmenter le temps et la distance nécessaires pour s'arrêter. Il y n'a aucun doute que si la vitesse augmente et que les autres conditions (types de véhicules, routes, services médicaux) restent inchangées, les accidents seront plus graves (Hauer, 2009). Même si les accidents mortels sont plus fréquents dans les zones rurales majoritairement à cause du comportement du conducteur (Quiros, 2003), il y a d'autres facteurs qui y contribuent et qui peuvent être améliorés par les interventions des autorités responsables: le manque de

signalisation, l'éclairage et le marquage, l'entretien hivernal, l'accès aux services d'urgence, des animaux qui traversent les routes (avec la possibilité de les contrôler par une réglementation de chasse), la variation de la géométrie et les conditions des routes (les virages, par exemple), la réglementation des véhicules utilisant les routes, les infrastructures pour les divers usagers et le type de chaussée (Quiros, 2003) (Souleyrette, 2010). Malheureusement les administrations dans les zones rurales n'ont pas toujours les ressources ou les moyens pour implémenter des stratégies de sécurité routière ou maintenir les routes en bon état (Dell'Acqua & Russo, 2011) (Aarts & van Schagen, 2006).

Afin de mieux comprendre la problématique de la sécurité routière d'un tel milieu, plusieurs bases de données décrivant les accidents et le milieu sont requises, telles que les rapports d'accident effectués par la police (ou autre source comme les services d'urgence ou les rapports d'assurance) et les bases de données géomatiques. Les rapports d'accident sont des rapports qui recueillent des données décrivant l'accident ainsi que les facteurs l'ayant causé. Les bases de données géomatiques contiennent des informations sur le réseau routier, telles que l'occupation du sol ou la densité de population. Ces données sont ensuite analysées selon différentes méthodes présentées dans la section suivante.

2.2 Méthode d'exploration de données

Selon ce que Jiawei Han et Micheline Kamber avancent dans leur livre *Data Mining – Concepts and Techniques*, l'exploration de données est composé de sept étapes (Han & Kamber, 2006):

1. Nettoyage de données : suppression des valeurs aberrantes ou incohérentes;
2. Intégration de données : combinaison de données de sources différentes pour bonifier la base de données;
3. Sélection de données : seulement les données permettant de décrire les objets à analyser sont gardées;
4. Transformation de données : les données sont converties et transformées en une forme appropriée pour l'extraction de l'information conclusive;
5. Extraction de l'information : étape où des méthodes d'exploration de données sont appliquées aux données;

6. Évaluation des tendances : identifier l'information conclusive des objets analysés basés sur les données et méthodes de l'étape précédente;
7. Divulgarion des données : des techniques de présentation sont utilisées pour visualiser l'information exploitée.

Ces étapes d'exploration de données peuvent être appliquées à plusieurs types de données. Plusieurs études examinent les causes, la prévention et les statistiques des accidents. Les données utilisées dans ces études proviennent de plusieurs sources qui ne sont, malheureusement, que faiblement reliées entre elles. En d'autres termes, les diverses données ne sont pas contrôlées et ne visent de plus pas à comprendre, résoudre ou caractériser la même problématique (Akinyokun, 2010). Par exemple, un rapport d'accident peut parfois ne donner aucune information à propos du type de route (telle que la limite de vitesse) et de l'emplacement où l'accident a eu lieu, un rapport d'un service d'urgence peut parfois seulement donner les informations à propos des blessures des victimes. Dans son article « *The Design and Implementation of a Road Safety Relational Database* » publié en 2010, Charles Akinyokung propose de créer un lien conceptuel (i.e., numéro d'évènement, les coordonnées GPS, le numéro de matricule du véhicule, etc.) et d'utiliser une base de données relationnelle afin d'éviter les problèmes mentionnés ci-dessus (Akinyokun, 2010).

Lorsque le lien conceptuel est choisi et que la base de données relationnelle est créée et prête à être exploitée, une analyse de corrélation est d'abord appliquée avant l'exploration. L'analyse de corrélation sert à mesurer l'interdépendance entre les variables. Le coefficient de corrélation Pearson varie entre -1 et +1 : une valeur de 0 indique qu'il n'y a pas de relation linéaire entre les deux variables, une valeur supérieure à 0 indique une association positive entre deux variables, c'est-à-dire, que si la valeur d'une variable augmente, la valeur de l'autre variable augmente aussi, et une valeur inférieure à 0 indique une association négative, c'est-à-dire, que si la valeur d'une variable augmente, la valeur de l'autre variable diminue.

Il est courant dans la littérature de sécurité routière d'effectuer en premier une analyse descriptive des accidents, si nécessaire au moyen d'une méthode de regroupement non-supervisée. (Karlaftis & Tarko, 1998) (Steenberghen et al., 2004) (Anderson, 2009) (Mohamed et al., 2013) (Depaire et al., 2008). Le regroupement non-supervisé est une méthode de regroupement qui ne vise pas à décrire un objet en particulier. C'est-à-dire que le regroupement cherche à trouver des tendances

et structures intrinsèques dans les données. Cette analyse de regroupement est souvent appliquée à l'extraction de données, à la reconnaissance des formes, et au traitement des images et se base sur les principes de maximisation de l'homogénéité intraclasse et de l'hétérogénéité interclasse (Han & Kamber, 2006). C'est-à-dire que les objets faisant partie d'un même groupe se ressemblent entre eux, mais sont différents des objets faisant partie d'autres groupes. Les algorithmes de regroupement les plus utilisés sont les algorithmes hiérarchiques, les algorithmes de partitionnement, et les algorithmes basés sur la densité. L'algorithme de partitionnement des k-moyennes semble être le plus utilisé pour analyser et regrouper les accidents (Mohamed et al., 2013) (Kanungo et al., 2002) (Nowakowska, 2012). Comme l'algorithme des k-moyennes s'applique qu'aux attributs numériques, il est nécessaire de convertir les attributs catégoriels à des attributs binaires ($n-1$ variables binaires sont créées pour un attribut catégoriel avec n catégories). Une difficulté particulière de plusieurs méthodes de regroupement est le choix du nombre de groupes. Il n'existe pas de méthode universelle pour y arriver et le nombre de groupes dans ce mémoire a été identifié après plusieurs itérations et par des essais-erreurs afin de trouver une tendance (Han & Kamber, 2006).

Tout de même, la méthode est efficace lors du traitement de grandes quantités de données en raison de la complexité du calcul de l'algorithme de $O(nkt)$, où n est le nombre total d'objets, k le nombre de groupes, et t est le nombre d'itérations. L'algorithme consiste à trouver la meilleure division entre les objets et à les regrouper dans des groupes similaires. Les n objets sont assignés au centre de groupe (centroïde) le plus similaire, basé sur la distance entre chaque objet et chaque centroïde. Le but de l'algorithme est de minimiser la variance dans chacun des groupes, c'est-à-dire de minimiser la fonction $V = \sum_{i=1}^k \sum_{j \in C_i} |n_j - m_i|^2$, où $C_i, i=1, \dots, k$, est l'ensemble des objets appartenant au i^{e} groupe, n_j est le j^{e} me objet, m_i est le centroïde du groupe i (Han & Kamber, 2006). L'algorithme des k-moyennes peut être représenté visuellement dans la Figure 2-2.

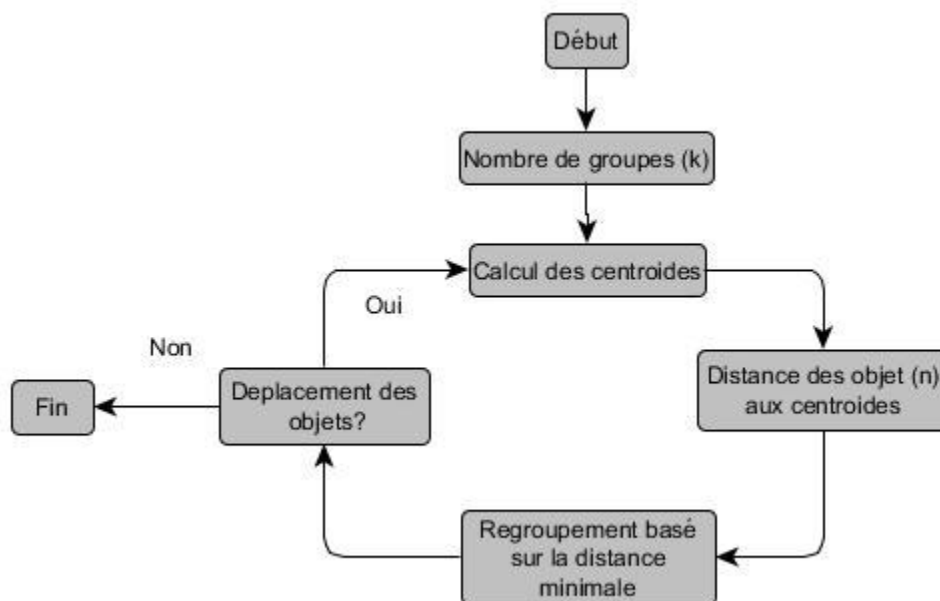


Figure 2-2: Algorithme des k-moyennes

Lorsque la variance ne peut plus être minimisée, l'algorithme prend fin. Les groupes sont analysés et les résultats sont présentés.

2.3 Méthodes statistiques de sécurité routière

Une des premières étapes à suivre pour améliorer un réseau routier est de mettre en œuvre des programmes de sécurité routière et d'identifier les sites problématiques. Les sites problématiques sont des sites qui enregistrent un nombre d'accidents attendu plus élevé que d'autres sites semblables en raison de facteurs de risque locaux (Sorensen & Elvik, 2007). Plusieurs études ont été menées pour trouver ou standardiser la manière la plus fiable d'identifier ces sites et de les prioriser du plus problématique au moins problématique. Ces études proposent des méthodes et des indicateurs qui varient entre une corrélation spatiale visant à évaluer la mesure dans laquelle les accidents survenus sur un site donné sont liés aux accidents survenus sur un site avoisinant, des indicateurs traditionnels reposant directement sur les accidents et des indicateurs alternatifs visant non seulement à identifier les sites problématiques, mais aussi à identifier les attributs (i.e., signalisation, le nombre de voies, la géométrie du carrefour, etc.) du site qui augmentent le risque d'accident. Les indicateurs traditionnels les plus courants sont : la fréquence d'accident qui consiste à additionner le nombre d'accidents survenus dans un site, le taux d'accident est un ratio

entre le nombre d'accidents et une mesure d'exposition, et l'indice de gravité qui attribue un poids différent à chaque niveau de gravité (PIARC, 2003). Les indicateurs alternatifs visant les caractéristiques qui augmentent le risque d'accident se basent sur des approches bayésiennes.

2.3.1 Analyse spatiale d'accidents

Les méthodes spatiales pour identifier des sites ayant une concentration d'accidents élevée peuvent être appliquées pour trouver des sites problématiques. Des chercheurs ont appliqué des indices d'autocorrélation spatiale qui permettent de rechercher des relations par rapport à une variable (i.e., nombre d'accidents) entre les sites et les régions qui sont proches. Si une région ou un site compte plus d'accidents que l'autre, cette région ou ce site peut être considérée comme problématique (Moons et al., 2008). Cette méthode repose sur la formule suivante pour un site i :

Équation 2-1: Corrélacion spatiale

$$I_i = \frac{n}{(n-1)S^2} (x_i - \bar{x}) \sum_j w_{ij} (x_j - \bar{x})$$

où x_i est la valeur de la variable à l'étude (nombre d'accidents) au site i , \bar{x} est la valeur moyenne de la variable x , w_{ij} est un poids qui représente la proximité entre les sites i et j , S^2 est la variance des variables observées et se trouve avec la formule suivante : $S^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$, où « n » est le nombre des sites.

Une valeur négative de la corrélation spatiale au site « i » indique des valeurs opposées de la variable « i » par rapport aux sites avoisinants. Une valeur positive, au contraire, signale des valeurs similaires au site « i » avec son voisinage. Cela signifie que le site « i » et son voisinage peuvent avoir des valeurs supérieures à la valeur moyenne ou peuvent avoir des valeurs inférieures à la moyenne (Moons et al., 2008). Néanmoins, lorsque cette méthode est utilisée dans des études de sécurité routière, on s'intéresse seulement aux : 1. sites ayant un nombre d'accidents plus élevé que la moyenne ($(x_i - \bar{x}) > 0$) et, 2. lorsque le voisinage autour du site i compte plus d'accidents que la moyenne ($(\sum_j w_{ij} (x_j - \bar{x})) > 0$).

Une analyse de regroupement spatiale est aussi possible avec la méthode de balayage spatial de Kulldorff. Le principe de la méthode de balayage spatial de Kulldorff consiste en une fenêtre spatiale se déplaçant d'une aire de diffusion à l'autre et comptant le nombre d'accidents observés

et attendus. La comparaison entre le nombre d'accidents observés et ceux attendus permet de calculer une mesure de « risque relatif » pour chaque aire de diffusion (Saunier et al., 2014).

2.3.2 Indicateurs simples de sécurité

Les premiers chercheurs en sécurité routière utilisaient des indicateurs simples tels que la moyenne et la variance du nombre d'accidents enregistré pour une période de temps et l'exposition (accidents par véhicules-kilomètres ou le nombre de véhicules entrant sur un site) pour identifier les sites problématiques (Geurts & Wets, 2003). Néanmoins, ces indicateurs n'intègrent pas les facteurs de risque (i.e., les attributs du site, la gravité de l'accident, etc) de l'accident car le nombre d'accidents est normalement leur seule donnée d'entrée et aucun autre facteur n'est pris en compte (Geurts & Wets, 2003). La fréquence d'accident (Équation 2-2) est un indicateur simple pour identifier les sites problématiques et sa méthodologie consiste à classer la fréquence des accidents observés en ordre décroissant (Elvik, 2008). La fréquence d'accidents consiste à compter le nombre d'accidents survenus sur un site en particulier. Le résultat est le nombre d'accidents par unité de distance pour les tronçons (typiquement en km) :

Équation 2-2

$$\text{Fréquence d'accident} = \frac{A}{L}$$

Où A est le nombre d'accidents enregistrés sur un site en particulier, et L est la longueur de la portion de la route considérée (dans le cas des carrefours, $L = 1$, par convention).

Cette méthode présente plusieurs lacunes, les plus importantes étant qu'elle néglige de considérer les variations temporelles en raison du caractère aléatoire et de la rareté des accidents (Miranda-Moreno & Fu, 2006) : le nombre élevé d'accidents durant une période de temps ne veut pas nécessairement indiquer un problème de sécurité réel (Cafiso & Di Silvestro, 2011), et de ne pas estimer objectivement un seuil pour différencier les sites ayant un problème de sécurité routière de ceux qui n'en ont pas. Un autre indicateur simple est le taux d'accident (T_{acc}). Cet indicateur consiste à trouver le rapport du nombre d'accidents qui se produisent sur un site pendant un certain laps de temps divisé par une mesure particulière d'exposition (par exemple en million de véhicules-kilomètres de déplacement pour une route ou par un million des véhicules entrants pour un carrefour) tel que montré dans l'Équation 2-3 (PIARC, 2003).

Équation 2-3

$$T_{acc} = \frac{A \times 10^6}{365.5 \times V \times T \times L}$$

où V est le DJMA (débit journalier moyen annuel), A est le nombre d'accidents, L est la longueur de la portion de la route considérée (dans le cas des carrefours, $L = 1$ par convention) et T est le nombre d'années considéré.

Sa méthodologie consiste à comparer le taux d'accidents enregistrés sur le site avec un taux critique ($T_{critique}$). Lorsque le taux d'accident sur le site est plus élevé que sur les sites similaires ou plus élevé que le taux critique, le site est considéré comme problématique (AASHTO, 2010). Le taux critique se calcule avec la formule suivante (PIARC, 2003):

Équation 2-4

$$T_{critique} = \bar{T}_g + k \times \sqrt{\frac{\bar{T}_g \times 10^6}{365.5 \times T \times V \times L}} + \frac{10^6}{730.5 \times T \times V \times L}$$

où \bar{T}_g est le taux critique moyen des sites similaires, calculé avec la formule $\bar{T}_g = \frac{10^6 \sum_j A_j}{365.5 T \times \sum_j V_j L_j}$ et k est une constante statistique ($k=2.326$ pour un niveau de confiance de 99 %, $k=1.645$ pour un niveau de confiance de 95 %, $k=1.282$ pour un niveau de confiance de 90 %, $k=1.036$ pour un niveau de confiance de 85 %, etc.), A_j est le nombre d'accidents du site, V_j est le DJMA du site, et L_j est la longueur du site. Bien que cet indicateur définisse un seuil pour considérer un site problématique, cet indicateur connaît également les mêmes lacunes que l'indicateur de fréquence d'accidents (Miranda-Moreno & Fu, 2006) (Cafiso & Di Silvestro, 2011). De plus, cet indicateur repose sur l'hypothèse implicite et généralement fausse que le nombre d'accidents croît linéairement en fonction du débit véhiculaire (AASHTO, 2010).

Un autre indicateur est l'indice de gravité, aussi appelé « dommages matériels équivalents moyens par accident » (Souleyrette, 2010) (PIARC, 2003). Cet indicateur représente la gravité moyenne des accidents en pondérant différemment les accidents selon leur gravité (plus les accidents sont graves, plus leur poids est élevé) et selon leur juridiction. Il existe cinq niveaux de gravité possible dans les rapports de la Société d'assurance automobile du Québec (SAAQ) comme montré dans le Tableau 2-1.

Tableau 2-1: La gravité d'un accident définie par la SAAQ

TYPE DE GRAVITÉ	DESCRIPTION
Matériel mineur	L'évaluation sommaire de tous les dommages matériels causés lors de l'accident est de 2 000 \$ ou moins. Cette évaluation est faite par l'agent de la paix.
Matériel majeur	L'évaluation sommaire de tous les dommages matériels causés lors de l'accident est plus de 2 000 \$. Cette évaluation est faite par l'agent de la paix.
Accident léger	L'accident a fait des victimes avec des blessures légères selon l'agent de la paix.
Accident grave	L'accident a fait des victimes avec des blessures graves selon l'agent de la paix.
Accident mortel	L'accident a fait des victimes qui sont décédées selon l'agent de la paix.

L'indice de gravité, I_g , se calcule avec la formule suivante :

Équation 2-5

$$I_g = \frac{\{9.5(M + G) + 3.5(L) + DMS\}}{A}$$

où M est le nombre d'accidents mortels, G est le nombre d'accidents graves, L est le nombre d'accidents légers et DMS est le nombre d'accidents avec dommages matériels seulement (somme des accidents avec des dommages matériels majeurs et mineurs). L'indice de gravité ayant cette pondération a été utilisé dans plusieurs projets de sécurité routière au Québec (GEOMONT, 2011) (Saunier et al., 2014) (MTQ, 2001). Néanmoins, cet indicateur doit être utilisé avec précaution, car un site enregistrant un seul accident mortel peut être considéré plus problématique selon cet indicateur qu'un site comptant un grand nombre d'accidents avec dommages matériel seulement. Une combinaison des trois indicateurs (la fréquence d'accident, le taux d'accident et l'indice de gravité) afin d'identifier les sites problématiques et de les classer en trois catégories a aussi été utilisée comme montré dans la Figure 2-3 (GEOMONT, 2011), mais

les seuils de chaque indicateur ont été choisis de manière arbitraire. Cette méthode compare le taux d'accident (T_{acc}) de chaque site avec son taux critique ($T_{crit.}$) respectif. Ensuite, l'indice de gravité (IG) est comparé à l'indice de gravité moyen de l'ensemble des sites (IG moy.). Finalement, la fréquence d'accidents de chaque site est comparée au seuil de 4 accidents par site (pour les intersections), ou 4 accidents par longueur de 100 m (pour les tronçons).

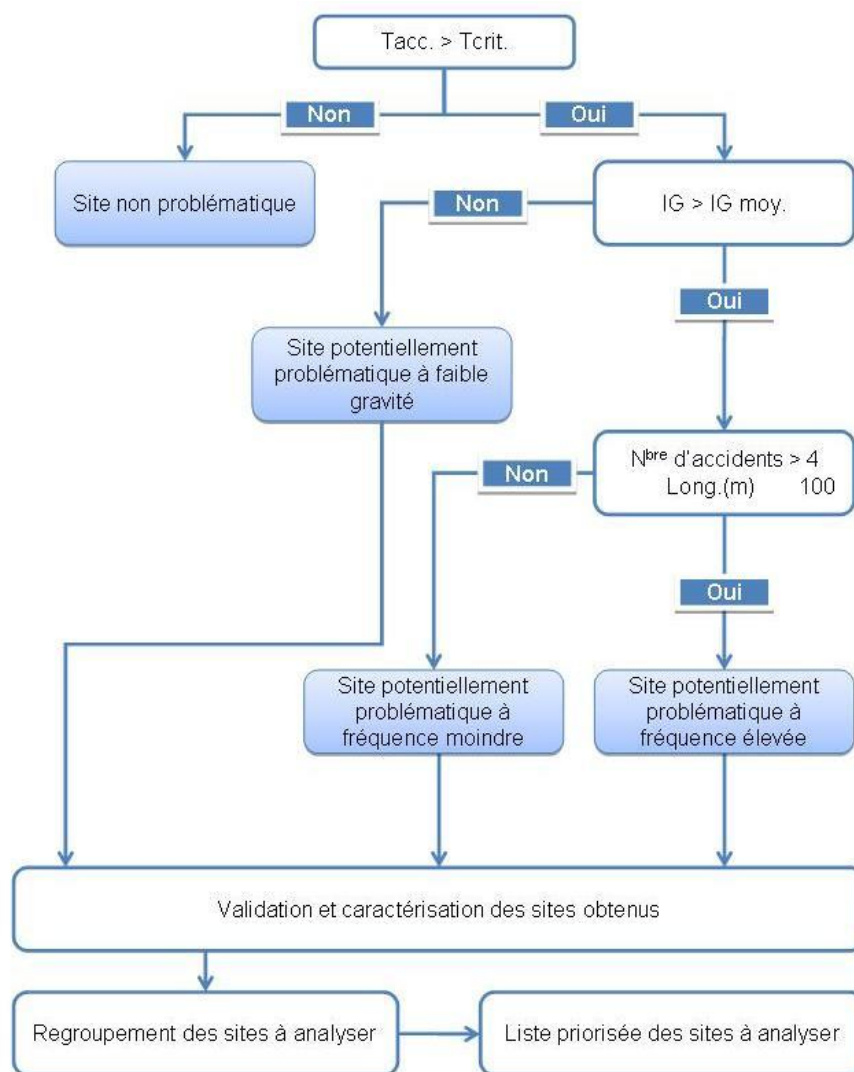


Figure 2-3: Méthode d'identification des sites potentiellement problématiques du projet pilote du MTQ dans la MRC de Roussillon (GEOMONT, 2011)

Finalement, la fréquence d'accidents et le taux d'accidents sont aussi sujets à la problématique connue de la « régression vers la moyenne ». La régression vers la moyenne est la tendance du nombre d'accidents survenus sur un site particulier à fluctuer à la hausse ou à la baisse, sur le long terme, et de converger vers une moyenne à long terme. Cela peut être problématique, car elle crée l'illusion que les interventions effectuées dans les sites ayant une fréquence d'accidents élevée semblent être plus efficaces que d'autres comme montré dans la Figure 2-4 (AASHTO, 2011).

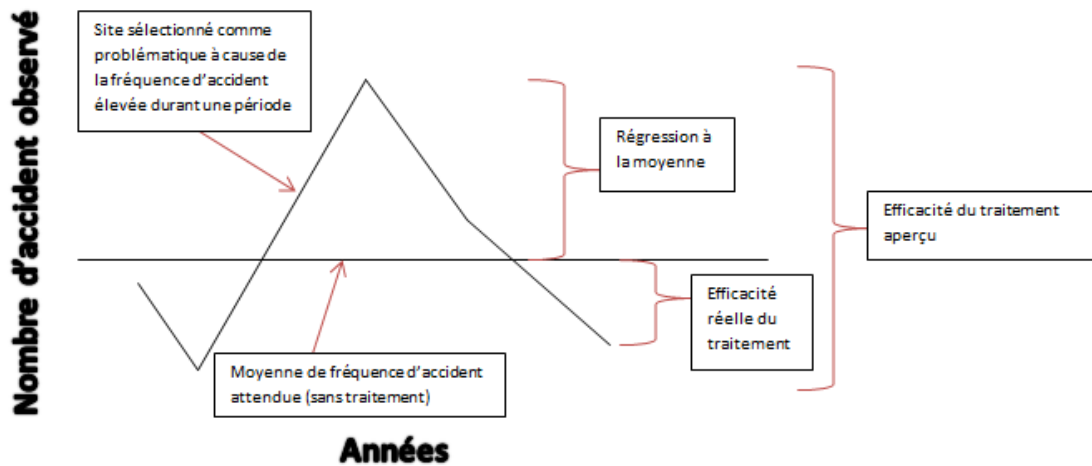


Figure 2-4: Régression vers la moyenne (adapté de (AASHTO, 2010))

Plusieurs autres méthodes et indicateurs comme la méthode de proportion (Montella, 2010), qui est utilisée comme un outil de diagnostic pour identifier les tendances des accidents, sont aussi appliqués pour identifier des sites problématiques. La méthode de proportion consiste à prioriser les sites en se basant sur le fait que la probabilité de la proportion d'un type d'accident est supérieure à un seuil. Le seuil est choisi en fonction de la proportion du type d'accident ciblé. Étant donné que chaque accident peut être considéré comme un événement indépendant, la probabilité d'un type d'accident est égale à la proportion du type de collision par rapport aux accidents d'un groupe de comparaison (p). Ainsi, la probabilité d'observer moins d'un nombre x d'un type d'accident dans un nombre n d'événements peut être calculé avec l'Équation 2-6.

Équation 2-6

$$P(X \leq x - 1, n; p) = \sum_{i=0}^{x-1} \frac{n!}{(n-i)! x i!} x p^i (1-p)^{n-i}$$

Une autre méthode est l'indice de sécurité relative (RSI, *Relative Safety Index*) (AASHTO, 2010), qui consiste à comparer le coût financier moyen des accidents survenus sur un site avec le coût financier d'accident moyen pour les sites ayant des caractéristiques similaires. Afin d'appliquer cette méthode, les coûts financiers des accidents doivent être connus. L'indice de sécurité relative additionne le coût total de tous les accidents survenus sur un site et les divise par le nombre d'accidents survenus sur le site en question. L'indice de sécurité relative est comparé avec les indices de sécurité relative des sites similaires. Finalement, la méthode du niveau de service de la sécurité (LOSS, *Level of Service of Safety*) est une méthode qui classe les sites en comparant le nombre moyen d'accidents observé sur chaque site au nombre moyen d'accidents prévus pour l'ensemble de la population à l'étude (AASHTO, 2010). Le degré d'écart de la fréquence moyenne d'accidents prévue est divisé en quatre catégories. Chaque site est affecté à une catégorie par rapport à la différence entre la fréquence moyenne d'accidents observée et la fréquence moyenne d'accidents prévue. Néanmoins, ces méthodes ne considèrent pas non plus la problématique de régression vers la moyenne (Montella, 2010) (AASHTO, 2010).

2.3.3 Approches bayésiennes

Les approches bayésiennes sont des méthodes sophistiquées d'identification des sites problématiques où une distribution préalable sur un paramètre est d'abord supposée, $\pi(\theta_i|\eta)$, où η est un vecteur de paramètres préalables décrivant des facteurs potentiels causant un accident et θ_i est la moyenne d'accidents. Cela est combiné avec le nombre d'accidents observés (y_i) dans la distribution postérieure d'accidents ($p(\theta_i|y_i, \eta)$):

Équation 2-7

$$p(\theta_i|y_i, \eta) \propto f(y_i|\theta_i)\pi(\theta_i|\eta)$$

où $f(y_i|\theta_i)$ est la vraisemblance du nombre d'accidents et $\pi(\theta_i|\eta)$ est la distribution préalable de θ_i (Miranda-Moreno, 2011).

La première étape à suivre pour appliquer une méthode bayésienne est de choisir une distribution pour θ_i et il faut ensuite appliquer une des méthodes bayésiennes qui tient compte de la distribution préalable et historique des accidents afin d'obtenir la distribution postérieure d'accidents.

Deux modèles existent pour trouver la distribution postérieure, la loi de Poisson ou soit le modèle Poisson/Gamma, aussi connu comme la distribution binomiale négative (NB). Il existe une restriction non négligeable dans l'application de la loi de Poisson : la moyenne des accidents doit être égale à la variance des accidents. Néanmoins, lors de la modélisation de l'ensemble des accidents, cette hypothèse est souvent violée, puisque la variance est généralement supérieure à la moyenne; ce phénomène est nommé sur-dispersion (Miranda-Moreno, 2011). La sur-dispersion (Φ) d'accidents existe car :

1. Sur-dispersion en raison de l'hétérogénéité non-observée. Il s'agit de l'omission des attributs importants des sites, des variables non mesurées dans les conditions météorologiques, la visibilité, le comportement du conducteur, etc.
2. Sur-dispersion en raison du nombre élevé de sites comptant 0 accident. Cette situation se produit lorsque le nombre de sites ayant dénombré zéro accident dépasse le nombre de sites enregistré zéro accident pouvant être traité avec la loi de Poisson.

Le modèle NB ne restreint pas la moyenne des accidents à la variance des accidents et a été employé de manière intensive dans l'estimation des paramètres dans la littérature car il est simple à utiliser en ce qui a trait aux calculs et plusieurs logiciels statistiques sont disponibles pour sa calibration (Miranda-Moreno et al., 2007) (Miranda-Moreno et al., 2009) (Cafiso & Di Silvestro, 2011) (Miranda-Moreno & Fu, 2006) (Hauer, 2001). Dans le modèle NB, le nombre d'accidents attendus, μ_i , est utilisé pour définir la moyenne du nombre d'accidents observés, $E(y_i|\mu_i, \Phi) = \mu_i$, et la variance du nombre d'accidents observés, $Var(y_i|\mu_i, \Phi) = \mu_i(1 + \mu_i/\Phi)$ où y_i et Φ sont comme définis précédemment le nombre d'accidents observés et le paramètre de sur-dispersion, respectivement. Le paramètre de sur-dispersion, Φ , est supposé fixe pour tous les sites analysés, et peut être calculé dans la plupart des logiciels de statistique.

Ainsi, le modèle NB introduit un effet aléatoire Gamma qui est multiplié par le nombre d'accidents attendu, μ_i , ce qui suppose que le nombre moyen d'accidents (θ_i) est distribué de façon aléatoire comme montré dans l'Équation 2-8:

Équation 2-8

$$\theta_i = \mu_i e^{\epsilon_i}$$

où μ_i est le nombre d'accidents attendu (voir Équation 2-9). Le terme e^{ei} représente l'effet aléatoire du modèle qui suit une distribution Gamma où $E(e^{ei}) = 1$ et $Var(e^{ei}) = (1/\Phi)$ (Miranda-Moreno, 2012).

Normalement, μ_i est estimé comme suit :

Équation 2-9

$$\mu_i = f(F_{1i}, F_{2i}, x_i; \beta)$$

Où

F_{1i}, F_{2i} = débit véhiculaires du site (1i est l'approche principale et 2i est l'approche secondaire);

x_i = attributs spécifiques du site;

β = vecteur des paramètres de régression.

Il existe d'autres extensions du modèle Poisson ou du modèle NB à considérer, telles que le modèle Poisson/log-normal, le modèle gonflé à zéro de Poisson (ZIP, *Zero Inflated Poisson*), et le modèle binomial négatif généralisé (GNB, *Generalized Negative Binomial*). Le modèle Poisson/log-normal ne suppose pas une distribution Gamma pour l'effet aléatoire multiplicatif e^{ei} du modèle NB. Au contraire, le modèle Poisson/Log-normal suppose que e^{ei} peut avoir une distribution log-normale. Avec cette hypothèse, la moyenne du nombre d'accidents peut être définie de la même manière que l'Équation 2-8, et le terme e^{ei} représente l'effet aléatoire du modèle qui suit une distribution lognormale, $e^{ei} \sim \text{Log-normal}(0, \sigma^2)$ (Miranda-Moreno & Fu, 2006). Plusieurs méthodes existent pour obtenir le paramètre d'estimation de probabilité, σ^2 , comme la quadrature Gauss-Hermite et l'algorithme EM (*Expectation-Maximization*). Enfin, ce modèle peut être considéré lorsque les accidents ont une distribution à queue lourde, puisque les queues log-normales sont connues pour être asymptotiquement plus lourdes que celles de la distribution Gamma. Cela peut être le cas lorsqu'il y a beaucoup de valeurs extrêmes. Le modèle ZIP suppose que les chiffres sont générés à partir de deux sources différentes. La première source est appelée « l'état zéro » et reflète la proportion de zéros qui n'ont pas une distribution Poisson. L'autre source représente les chiffres suivant une distribution Poisson. Bien que le modèle ZIP puisse gérer le problème de l'excès de zéros, il est inflexible dans le sens où il ne peut pas représenter les attributs non-observés importants ou aléatoires qui peuvent également influencer sur le nombre moyen d'accidents (c'est-à-dire la sur-dispersion en raison de l'hétérogénéité non-

observée). Pour résoudre ce problème, le modèle ZIP a été transformé en modèle binomial négatif gonflé à zéro (ZINB, *Zero-Inflated Negative Binomial*). Ce modèle suppose que le nombre moyen d'accidents est également aléatoire, par l'introduction d'un terme aléatoire multiplicatif, comme introduit pour le modèle NB. Le dernier modèle GNB ne présume pas que le facteur Φ est fixe comme le modèle NB. Cette variabilité au niveau du facteur Φ permet d'améliorer la flexibilité du modèle NB et la précision de μ_i . Néanmoins, cette variabilité est rarement utilisée dans la littérature, et le modèle NB reste le plus utilisé (Miranda-Moreno et al., 2007) (Miranda-Moreno et al., 2009) (Cafiso & Di Silvestro, 2011) (Hauer, 2001) (Powers & Carson, 2004) (Miranda-Moreno & Fu, 2006).

Une fois que le modèle du nombre d'accidents attendu, μ_i , est calibré en utilisant la distribution NB, il existe des tests pour vérifier sa qualité. Les tests plus courants sont le critère d'information Akaike (AIC, *Akaike information criterion*) et le test de Pearson (χ^2). L'AIC est utilisé pour effectuer des comparaisons des modèles basés sur la vraisemblance maximale et est définie comme $AIC = -2\ln(L) + 2k$, où k = nombre de paramètres dans le modèle. Le modèle de régression avec le plus faible AIC est préféré. Le test de Pearson est une simple analyse pour détecter des spécifications erronées du modèle et confirme la présence de sur-dispersion. Il s'agit ainsi de tester si les données sont compatibles avec la distribution définie a priori. Le test de Pearson s'applique en trois grandes étapes :

1. Calculer la statistique du test, χ^2 , qui est définie comme suit :

Équation 2-10

$$\chi^2(\hat{\mu}_i; n) = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{\mu}_i)^2}{\hat{\mu}_i} ;$$

où $\hat{\mu}_i$ est une estimation de μ_i , y_i est le nombre d'accidents observés au site i . (Miranda-Moreno, 2011). En effet, $\hat{\mu}_i$ est estimée par une fonction de performance de sécurité (SPF, *Safety Performance Function*) dans la procédure bayésienne (Hauer et al., 2002a) (Powers & Carson, 2004). La SPF est une équation qui relie la fréquence des accidents observés sur un site avec des attributs du site tels que le DJMA, la longueur de la route, le nombre de voies, ou d'autres facteurs géométriques.

2. Déterminer les degrés de liberté, $df=n-k$, où n est le nombre de sites et k est le nombre de paramètres dans le modèle;

3. Comparer χ^2 à la valeur du seuil de la distribution χ^2 pour le nombre de degrés de liberté définis à l'étape 2 afin de tester l'adéquation de la série de données (i.e., le nombre d'accidents enregistré) à une famille de lois de probabilité. C'est-à-dire qu'on compare le nombre d'accidents observé au nombre d'accidents estimé par l'indicateur bayésien. En effet, il s'agit de juger de l'adéquation entre une série de données statistiques et une loi de probabilité définie a priori. Dans le cas présent, cette loi de probabilité est celle de la variable, le nombre d'accidents observé, prenant un nombre dénombrable de valeurs, comme la loi de Poisson ou une distribution NB. Donc, une valeur de $\chi^2 > n-k$ est une indication de la sur-dispersion. De plus, en utilisant les tables de distribution de χ^2 , les degrés de liberté et un niveau de confiance de 95 %, l'hypothèse nulle, qui se réfère à la position générale qu'il n'existe pas de différence entre la distribution a priori et les données, peut être rejetée.

La deuxième étape du processus bayésien est de choisir une approche bayésienne. Deux approches principales peuvent être distinguées: l'approche bayésienne complète et l'approche bayésienne empirique (EB). La principale différence entre ces deux approches est dans la façon dont les paramètres (les paramètres de la distribution préalable) sont déterminés. Dans l'approche bayésienne complète, les paramètres sont déterminés sur la base d'une croyance préalable de la tendance des données concernées. Cependant, les croyances préalables sur les données sont difficiles à obtenir. Le consensus général pour identifier les sites problématiques est d'utiliser la méthode EB (Miranda-Moreno & Fu, 2006) (Cheng & Washington, 2005) (Hauer et al., 2002a). La méthode EB est maintenant même utilisée dans la « Interactive Highway Safety Design Model » (IHSDM), un ensemble d'outils d'analyse utilisé par une des agences de transport des États-Unis (Federal Highway Administration).

Cette méthode repose sur le fait que le nombre d'accidents survenus sur un site en particulier n'est pas le seul indice pour considérer le site comme dangereux, mais qu'il faut aussi se baser sur ce qui est connu au sujet de la sécurité des sites similaires dans la région d'étude (Hauer et al., 2002a). Bien que le modèle EB semble être le plus précis et adaptable, il y a encore des pays européens et des organismes gouvernementaux qui utilisent des méthodes primitives susceptibles d'entraîner des inexactitudes importantes (Elvik, 2008). Cela peut être encore pire dans les régions rurales où l'expertise et les données sont rares. Enfin, afin de mettre en œuvre la méthode EB, une durée d'observation raisonnable des accidents est nécessaire. Des chercheurs ont suggéré

qu'une durée d'observation de 3 à 6 ans représente près de 90 % de l'ensemble optimal d'années pour des études de sécurité routière (Cheng & Washington, 2005).

Les formules EB sont montrées ci-dessous :

Équation 2-11

$$EB_{\theta} = E(\theta_i | y_i) = w_i \mu_i + (1 - w_i) y_i$$

$$w_i = \frac{\Phi}{(\Phi + \mu_i)}$$

où

w_i = est un poids;

θ_i = le nombre moyen d'accidents;

y_i = le nombre d'accidents observés;

μ_i = le nombre attendu d'accidents estimé par une fonction de performance de sécurité (SPF);

Φ = le paramètre de sur-dispersion.

La troisième et dernière étape afin de mettre en œuvre la méthode EB est le paramètre de sur-dispersion. Comme discuté auparavant, les données sont dites être sur-dispersées si la variance est supérieure à la moyenne (contrainte violée de la loi de Poisson). Le paramètre de sur-dispersion peut être calculé en utilisant la formule suivante (McCullagh, 1983):

Équation 2-12

$$\Phi = \frac{\chi^2}{df_{residus}}$$

où χ^2 a déjà été défini auparavant (Équation 2-10) et $df_{residus}$ est $n - k$ (n nombre des sites et k est le nombre de paramètres de la SPF).

Le résultat de la formule EB est déterminé par le poids (w_i) qui est accordée aux accidents attendus aux sites similaires. Ce poids dépendra de la force des données des accidents (nombre d'accident prévus), et de la fiabilité de la SPF (Hauer et al., 2002a).

2.3.4 Analyse de gravité

Le nombre d'accidents enregistré sur un site ne révèle qu'une composante du risque d'accident. L'identification des facteurs qui influent sur la gravité de l'accident attire aussi l'attention de nombreux chercheurs dans le domaine de la sécurité routière. Les méthodes utilisées dans la littérature sont nombreuses et vont des arbres de régression (Kashani & Mohaymany, 2011) aux méthodes utilisant la taille et le poids des véhicules impliqués dans l'accident (Wood & Simms, 2002), en passant par des régressions multi-variable (Bedard et al., 2002), des modèles économétriques (Pai & Saleh, 2007) et des méthodes bayésiennes (Miranda-Moreno et al., 2009). La méthode bayésienne prévoyant le nombre total d'accidents sur un site peut être complémentaire et être combinée à l'application d'une méthode bayésienne prévoyant le nombre total d'accidents ayant une gravité élevée. Un exemple est l'étude de Luis F. Miranda-Moreno et al. 2009, qui utilise la distribution NB afin de calibrer deux SPF, une qui prend en compte le nombre total d'accidents et la deuxième qui prend en compte le nombre total d'accidents ayant une gravité élevée seulement. L'étude a conclu qu'une SPF prenant en compte le nombre total d'accidents ayant une gravité élevée seulement peut être ajoutée dans l'identification des sites problématiques de la méthode EB, qui ne considère normalement que le nombre total d'accidents (Miranda-Moreno et al., 2009).

2.4 Méthodes de classement des sites problématiques

Deux stratégies sont normalement utilisées afin d'identifier les sites problématiques (Miranda-Moreno et al., 2007) (PIARC, 2003) :

1. Une sélection des sites problématiques (identifiés par un indicateur de sécurité routière) basée sur le budget et les ressources disponibles pour effectuer des analyses de sécurité et mettre en œuvre des pistes de solution;
2. Une liste de sites basée sur un seuil acceptable des résultats de l'indicateur de sécurité routière appliqué.

La première stratégie est la plus utilisée dans la pratique. Les sites problématiques sont choisis de manière séquentielle à partir d'une liste classant les sites en ordre décroissant du plus problématique au moins problématique selon un indicateur de sécurité routière jusqu'à ce que le budget soit épuisé. La deuxième stratégie assure la sélection des sites dangereux car une

méthodologie d'identification des sites et une valeur seuil ont déjà été mises en place. Dans la deuxième stratégie, le budget est normalement divisé de manière égale pour chaque site tandis que dans la première stratégie, un seul site peut épuiser tout le budget. Cependant, ces deux stratégies comportent plusieurs lacunes : la principale lacune de la première stratégie est de produire de longues listes de sites problématiques, y compris un certain nombre de sites qui peuvent en fait ne pas être problématiques (faux positif), ou au contraire, la liste peut ignorer des sites qui sont problématiques (faux négatif). La difficulté de la deuxième stratégie est de définir formellement le seuil contenant le plus petit nombre d'erreurs possible. De plus, des chercheurs ont démontré que cette stratégie qui repose normalement sur un indicateur de sécurité routière produit un grand nombre de faux positifs à cause de la fluctuation aléatoire des accidents d'une année à l'autre (régression vers la moyenne) (Cheng & Washington, 2005). L'identification et la sélection des sites problématiques doit alors s'appuyer sur une méthode avancée, telle la méthode EB (PIARC, 2003) (Miranda-Moreno et al., 2007) (Sorensen & Elvik, 2007).

Afin de résoudre le problème de classement et de sélection, la littérature propose le concept de « probabilité d'une sélection correcte ». Ce concept considère la problématique de sélectionner un sous-groupe, r , des sites problématiques d'un ensemble de sites, n . La sélection du sous-groupe est basée sur une règle de probabilité qui capte les sites qui ont une probabilité d'enregistrer un accident plus élevée qu'un seuil spécifié. Cette méthode appelée « Probabilité postérieure d'excès » a déjà été appliquée auparavant dans la méthodologie d'identification de sites problématiques utilisant une distribution NB (Miranda-Moreno, 2011). Dans une distribution NB, la probabilité postérieure d'excès peut être définie comme suit :

Équation 2-13

$$p(\theta_i \geq c | y_i) = \int_c^\infty p(\theta_i | y_i, \Phi, \mu_i) d\theta_i = \int_c^\infty \frac{(1 + \frac{\Phi}{\mu_i})^{y_i + \Phi}}{\Gamma(y_i + \Phi)} \theta_i^{y_i + \Phi - 1} e^{-(1 + \frac{\Phi}{\mu_i})\theta_i} d\theta_i$$

où $p(\theta_i \geq c | y_i)$ est la probabilité postérieure que θ_i (la moyenne d'accidents du site) dépasse le seuil, c (les autres paramètres ont déjà été définis dans l'Équation 2-8 et Équation 2-11). Le seuil, c , dénote la limite supérieure d'une moyenne d'accidents « acceptable » spécifiée par les décideurs. Les sites ayant une probabilité postérieure plus grande à une valeur t , soit $p(\theta_i \geq c | y_i) > t$, sont choisis comme des sites problématiques (voir Figure 2-5). L'intégrale de la probabilité postérieure d'excès peut être estimée avec un logiciel statistique (Miranda-Moreno, 2011) .

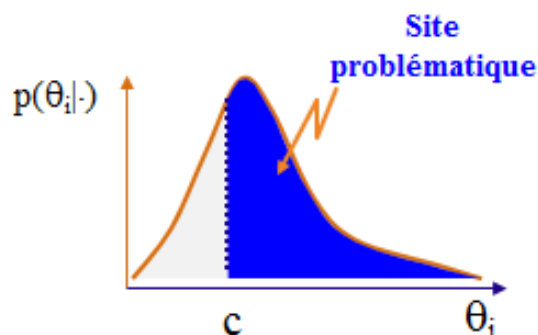


Figure 2-5: Sites problématiques définis par la limite c (tiré de (Miranda-Moreno, 2011))

Finalement, Sorensen propose que le niveau de gravité de l'accident ne soit pas le seul facteur à prendre en compte dans le processus d'identification des sites problématiques en milieu rural, puisque ces sites problématiques enregistrent souvent trop peu d'accidents pour considérer de manière significative le niveau de gravité. Au lieu de cela, la gravité peut être incluse dans une analyse préliminaire ou complémentaire des accidents des sites problématiques pour mieux les classer et effectuer des analyses plus détaillées (Sorensen & Elvik, 2007). C'est-à-dire que deux analyses doivent être effectuées sur un site avant de le considérer problématique, une analyse prenant en compte les accidents graves du site, et une analyse prenant en compte tous les accidents du site.

2.5 Méthodes de collecte de données dans un milieu rural et périurbain

Comme discuté dans les sections 2.3.2 et 2.3.3, l'Équation 2-3 (Taux d'accidents) et l'Équation 2-8 (la SPF) nécessitent des données, telles que le débit véhiculaire (comptages) ou les caractéristiques d'un site.

Les données collectées à chaque site pour créer des SPF dans la littérature sont nombreuses et incluent des données géométriques, des données géomatiques et des données décrivant les usagers. Le Tableau 2-2 montre les données intéressantes par grandes catégories. (Miranda-Moreno et al., 2007) (Miranda-Moreno et al., 2009) (Powers & Carson, 2004) (Apparicio et al., 2008).

Tableau 2-2: Type de données pour créer la SPF

Catégorie de données	Exemples de données
Caractéristiques géométriques	<ul style="list-style-type: none"> • Largeur de la route; • Nombre de voies; • Présence d'un terre-plein, d'une voie de virage à gauche/droite, d'un passage pour piéton,
Caractéristiques géomatiques	<ul style="list-style-type: none"> • Type de route; • Limite de vitesse; • Distance euclidienne au centre urbain le plus proche;
Caractéristiques des usagers	<ul style="list-style-type: none"> • Vitesse pratiquée par les usagers; • Nombre de véhicules légers; • Nombre de véhicules lourds.

Ces données peuvent être rendues disponibles par une agence gouvernementale, ou par un fournisseur de données. Les données peuvent aussi être recueillies lors d'une visite sur le terrain (Miranda-Moreno et al., 2007) (Miranda-Moreno et al., 2009) (Powers & Carson, 2004) (Apparicio et al., 2008).

Les comptages véhiculaires sont généralement des échantillons de la circulation, qui sont ensuite étendus pour être représentatifs de la condition moyenne de la circulation locale (PIARC, 2003). Lors d'un comptage effectué sur une route, le nombre de véhicules se déplaçant dans les deux sens est compté, et il peut être analysé de manière agrégée (i.e., la somme des deux sens) ou désagrégée (i.e., les sens des véhicules sont indépendants). À un carrefour, c'est plutôt le nombre de véhicules achevant une manœuvre complète (virage à gauche, tout droit, virage à droite) qui est compté. Étant donné que les différents types de véhicules possèdent des caractéristiques différentes, il est souvent utile que les comptages soient classifiés par type de véhicule ou

d'usager : véhicules légers, véhicules lourds (6,1 mètres ou plus), motocyclettes et bicyclettes. Les piétons sont également comptés séparément. De plus, les comptages doivent être effectués lorsque les conditions d'intérêt sont les plus susceptibles à être observés: un jour de semaine ordinaire dans un quartier d'affaires, en été, etc. Avant de débiter un comptage de la circulation, il est également important de s'assurer que les conditions normales de circulation ne sont pas perturbées par des événements spéciaux, comme une zone de travaux routiers en aval ou amont sur le site, un conflit de travail majeur, un événement culturel important. Il existe deux grandes catégories de méthodes de comptages, selon qu'elles sont automatiques ou manuelles (PIARC, 2003) (Québec, 2000).

Le type de comptage à effectuer dépend de l'information requise, de la durée du comptage et du budget disponible. Le tableau suivant se base sur le manuel de sécurité routière de l'Association mondiale de la route et il recommande le type de comptage à effectuer selon les informations recherchées (PIARC, 2003).

Tableau 2-3: Choix de technique de comptages (PIARC, 2003)

Information	Manuel	Automatique
Comptages de courte durée		
Route	Oui	Oui
Carrefour	Oui	Différencier chaque manœuvre du carrefour peut être difficile.
Comptage de piétons	Oui	Non
Classification de véhicules	Oui	Oui
Comptages de longue durée		
Route	Oui, mais pas très efficace	Oui
Carrefour		Oui
Comptage de piétons		Oui
Classification de véhicules		Oui

2.5.1 Comptages automatiques

Il existe plusieurs technologies pour effectuer des comptages automatiques. Les véhicules sont comptés par des capteurs, en utilisant un dispositif électromécanique ou électromagnétique, des enregistrements vidéo, des radars avec micro-ondes, des systèmes acoustiques, des rayons infrarouges passifs, ou des rayons infrarouges actifs. Chaque dispositif comporte des avantages et des désavantages qui doivent être considérés lors du choix du dispositif (Klein et al., 2006). Ces technologies de comptage automatique peuvent être utilisées pour des comptages de courte durée et de longue durée et doivent bien être protégées contre les conditions météorologiques, vol et le vandalisme (PIARC, 2003).

2.5.1.1 Comptage automatique : courte durée

L'utilisation d'un système de comptage automatique pour effectuer des comptages de courte durée est possible, mais les dispositifs automatiques sont préférés lors des comptages de longue durée comme montré dans le Tableau 2-3. Cette préférence tient au fait que les procédures d'un comptage manuel sont plus simples comparées aux dispositifs automatiques. Néanmoins, les comptages automatiques doivent être fortement considérés pour les comptages de courte durée lorsque la sécurité du personnel est en jeu (PIARC, 2003).

2.5.1.2 Comptage automatique : longue durée

Plusieurs sociétés et agences de transport installent un certain nombre de compteurs automatiques à des endroits stratégiques sur un réseau routier afin de faire un suivi précis de la variation et de l'évolution de la circulation. (PIARC, 2003).

2.5.2 Comptages manuels

Les comptages manuels sont préférés lors des comptages de courte durée ou lorsque le comptage doit être effectué à un carrefour comme montré dans le Tableau 2-3. Par contre, avant de partir sur le terrain pour effectuer un comptage manuel, deux facteurs sont à considérer : le personnel et l'équipement.

2.5.2.1 Personnel

Le nombre de personnes requis dépend de la durée du comptage, de la circulation, et du niveau de détail requis du comptage (manœuvres effectuées dans un carrefour ou la classification des véhicules). Afin d'éviter des erreurs dues à la fatigue lors du comptage, il est recommandé que le personnel fasse des pauses régulièrement (PIARC, 2003).

2.5.2.2 Équipement

Il existe trois types d'équipement pour effectuer des comptages manuels (PIARC, 2003) :

1. Feuille de comptage: le passage de chaque véhicule est noté par une coche dans une feuille de comptage. La personne utilise un chronomètre (ou une montre) pour déterminer le début et la fin de chaque période de comptage établie.

2. Compteur mécanique : le passage de chaque véhicule est noté en appuyant sur les boutons du compteur mécanique. La Figure 2-6 montre deux types de compteurs mécaniques, celui de gauche ne permet pas de classier les véhicules tandis que celui de droite le fait. Si le comptage est effectué à un carrefour de 4 branches, quatre compteurs mécaniques sont alors requis. La personne utilise un chronomètre (ou une montre) pour déterminer le début et la fin de chaque période de comptage établie. Le nombre de véhicules comptés par période de temps doit être ensuite noté sur une feuille.
3. Compteur électronique : le passage de chaque véhicule est noté en appuyant sur les boutons du compteur électronique, comme montré dans la Figure 2-7. Ce type de compteur contient un chronomètre intégré, ce qui élimine le besoin d'avoir un chronomètre. À la fin du comptage, les données sont chargées dans un ordinateur.



Figure 2-6: Compteurs mécaniques (PIARC, 2003)



Figure 2-7: Compteur électronique (PIARC, 2003)

2.6 Limites et critique des études précédentes

Cette revue de littérature a principalement examiné plusieurs méthodologies d'exploration de données, les principaux indicateurs de sécurité routière, la méthode bayésienne, les méthodes de classement des sites dangereux, et les diverses techniques de comptage. Ces méthodes sont les plus courantes dans la littérature, mais elles ne sont pas à l'abri des critiques et elles comportent plusieurs limites.

D'abord, la méthode de regroupement des k-moyennes n'est pas souhaitable si le but du regroupement est de découvrir des groupes d'objets ayant des formes non convexes. Cette méthode est aussi sensible aux données aberrantes car un petit nombre de ces données peut considérablement influencer la valeur moyenne. De plus, la nécessité de spécifier le nombre de groupes à l'avance peut être considéré comme un inconvénient (Han & Kamber, 2006). Finalement, l'algorithme de la méthode des k-moyennes ne donne pas le même résultat à chaque fois qu'il est exécuté. En effet, l'algorithme est marqué par une certaine instabilité quant aux résultats, ce qui peut engendrer des discussions sur le critère d'arrêt (Han & Kamber, 2006) (Singh et al., 2011).

Dans la méthode EB, les paramètres sont estimés en utilisant une technique de vraisemblance. Cette approche a été critiquée parce qu'elle utilise implicitement deux fois les mêmes données : les données d'accidents sont d'abord utilisées pour estimer les paramètres de la distribution préalable, et elles sont de nouveau utilisées pour tirer des conclusions sur la distribution postérieure (Miranda-Moreno et al., 2005).

De plus, il y a une tendance naturelle à approuver les résultats de toute étude qui utilise la méthode EB (Persaud & Lyon, 2007). Même si la méthode EB peut surmonter les limites des méthodes classiques en prenant en compte la problématique de régression vers la moyenne, les variations du débit de la circulation et l'évolution des accidents due à la météo, et aux habitudes de conduite, il existe quand même un certain nombre de difficultés qui peuvent rendre cette méthode aussi invalide que les méthodes classiques. Les difficultés de la méthode EB lorsqu'elle est utilisée pour faire des études avant-après d'un traitement sont (Persaud & Lyon, 2007) :

1. Effets différentiels pour différentes catégories d'accidents : La plupart des interventions affectent le type et la gravité de l'accident de manière différente. Par conséquent, dans l'évaluation de l'impact global d'une intervention, il est

nécessaire de tenir compte de ces changements différentiels. Cela est particulièrement important lorsque les solutions appliquées diminuent un type d'accident mais augmentent le nombre d'accidents d'autres types.

2. Changement du débit de la circulation: Le DJMA augmente au fil du temps. Ces changements, eux-mêmes, peuvent entraîner une augmentation dans la fréquence et le type d'accident.

Finalement, la plupart des études où la méthode EB a été appliquée avaient des débits véhiculaires pour chaque site étudié. Cela peut être difficile et long lorsque la région à l'étude est grande, rurale et que le débit véhiculaire est très bas (Miranda-Moreno et al., 2007) (Miranda-Moreno et al., 2009) (Hauer et al., 2002a).

CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE

Selon la revue de littérature effectué dans le cadre du présent mémoire, au Québec, aucune étude sur la sécurité routière dans un réseau municipal n'a été effectuée avec la méthode de regroupement des k-moyennes, ni avec la méthode EB. Ce projet est donc premier en son genre et vise à proposer une méthode d'analyse des données d'accidents sur le réseau municipal d'un grand territoire majoritairement rural afin de proposer un plan d'action pour améliorer la sécurité routière. L'objectif spécifique du projet consiste à appliquer une méthode d'analyse des accidents pour proposer une catégorisation des types d'accidents et une méthode d'identification et de priorisation des sites problématiques.

Ce chapitre explique la démarche adoptée pour atteindre cet objectif. Premièrement, les entités du réseau routier sont définies. Ensuite, les bases de données disponibles et créées sont présentées. Subséquemment, la technique d'exploration de données, y compris l'analyse des k-moyennes, est appliquée. Puis, les étapes d'une collecte de données sont expliquées afin d'obtenir les indicateurs de sécurité routière les plus courants. Finalement, la méthode EB complémentée par la probabilité postérieure d'excès est appliquée afin d'identifier et prioriser les sites problématiques.

3.1 Définition des entités à analyser

3.1.1 Le réseau routier

Ce projet s'intéresse seulement au réseau municipal, c'est-à-dire le réseau sous autorité des municipalités. Les premières entités à analyser sont les routes du réseau municipal et elles se divisent en quatre catégories :

Tableau 3-1: Catégories de routes du réseau municipal

Catégorie de route municipale	Longueur (km)	Proportion de routes pavées
Collectrice municipale	66,80	100,00
Artère urbaine	31,61	78,82
Locale urbaine	553,73	52,39
Locale rurale	858,30	79,20
Total	1 510,45	76, 70

Les catégories des routes du Tableau 3-1 se basent sur la classification cartographique d'Adresses Québec (AQ) et sur la classification fonctionnelle du MTQ comme montré dans la Figure 3-1. La classification cartographique d'Adresses Québec a comme but de représenter les routes du Québec sur les cartes et la classification fonctionnelle du MTQ définit la catégorie fonctionnelle de chaque route selon le MTQ. Toutes les catégories de routes du réseau municipal du présent projet sont soit une route locale, soit une route non-MTQ selon la classification fonctionnelle du MTQ. Une collectrice municipale est une route non-MTQ ou locale selon la classification fonctionnelle du MTQ et une route de type « collectrice municipale » selon la classification cartographique d'AQ. Une artère urbaine est une route non-MTQ ou locale selon la classification fonctionnelle du MTQ et une route de type « artère » selon la classification cartographique d'AQ. Finalement, une locale urbaine et une locale rurale sont une route non-MTQ ou locale selon la classification fonctionnelle du MTQ et une route de type « locale » selon la classification cartographique d'AQ, mais la locale urbaine autorise une vitesse de 50 km/h ou moins, et la locale rurale autorise une vitesse plus élevée que 50 km/h. Le seuil de 50 km/h permet ainsi de différencier approximativement les tronçons en milieu urbain de ceux en milieu rural.

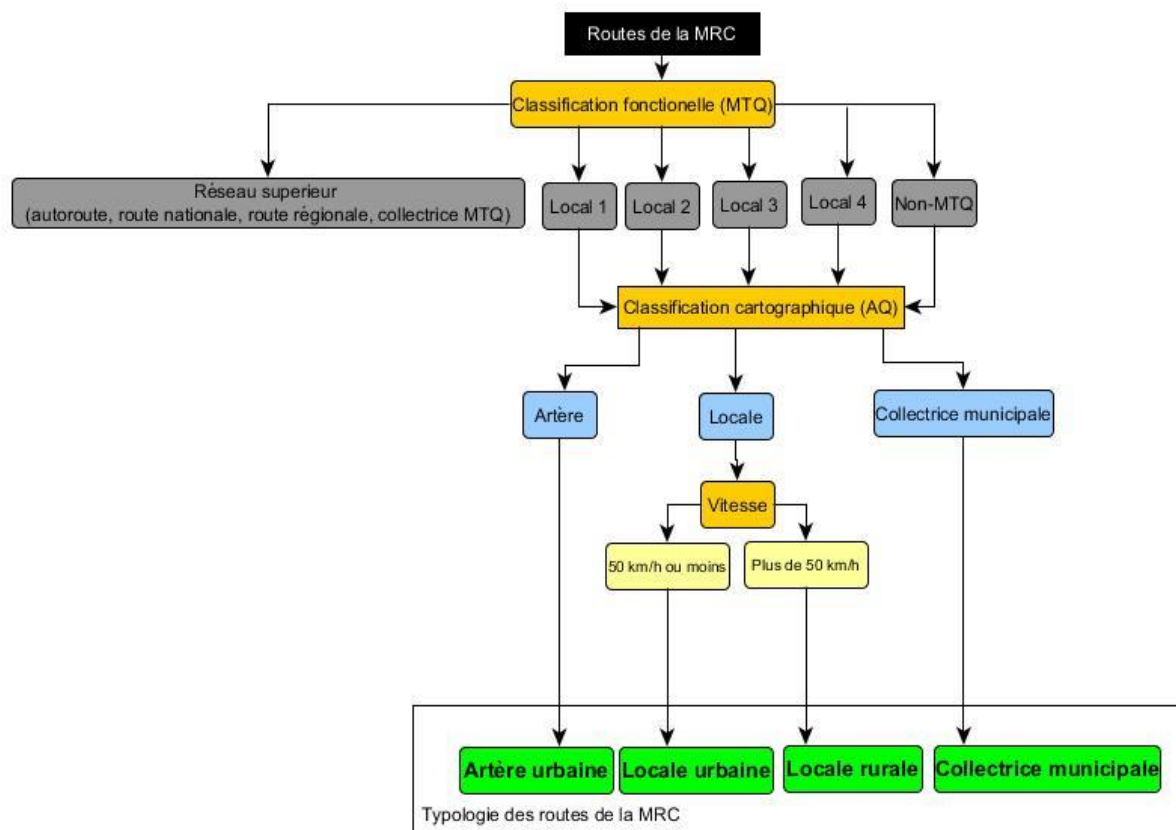


Figure 3-1: Typologie des routes proposée

Le croisement entre deux ou plusieurs routes est aussi analysé, car le comportement des conducteurs aux carrefours est différent de leur comportement sur une section de route. Un système d'information géographique (SIG) permet d'identifier les croisements entre deux ou plusieurs routes dans la région d'étude. Ce croisement entre deux ou plusieurs routes s'appelle communément un carrefour et il se définit comme étant un point de contact entre deux ou plusieurs routes. Lorsque l'identification des carrefours a été faite dans la région à l'étude grâce au logiciel SIG, plusieurs problèmes ont été constatés, en particulier dans la municipalité de Victoriaville, qui est la municipalité la plus urbanisée :

- Le codage du réseau routier d'AQ considère séparément les voies d'une route lorsqu'elles sont séparées par un terre-plein comme montré dans la Figure 3-2. Ce qui cause un dédoublement des carrefours lors du croisement avec une autre route;



Figure 3-2: Effet d'un terre-plein dans la création des carrefours

- Le codage du réseau routier d'AQ considère que la connexion entre une voie de virage exclusive canalisée et la route de destination sont des carrefours distincts comme montré dans la Figure 3-3.

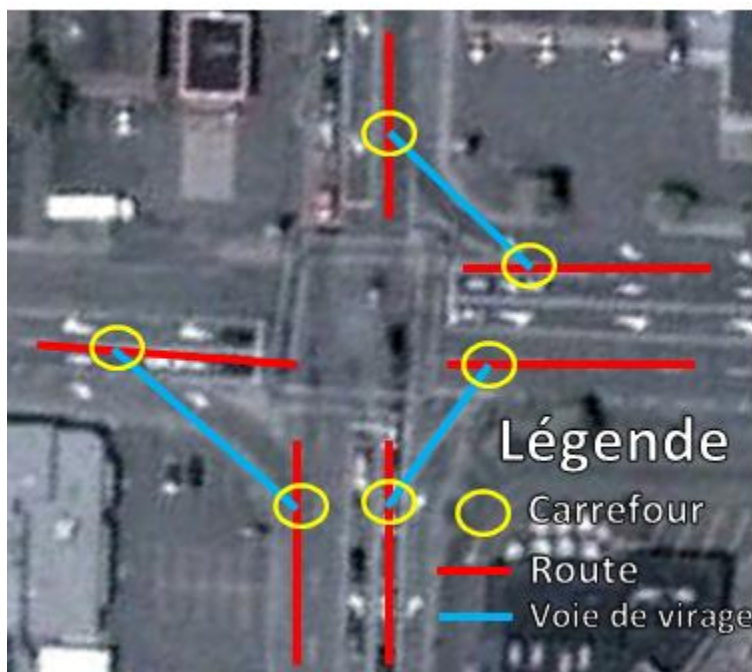


Figure 3-3: Effet d'une baie de virage dans la création des carrefours

Ces deux problèmes pourraient fausser les analyses en divisant un même carrefour en plusieurs sous-carrefours. Afin de régler ces problèmes, un regroupement des croisements a été fait. Le regroupement a été fait systématiquement et manuellement. Dans un premier temps, tous les croisements à 20 mètres ou moins ont été regroupés pour former un seul carrefour. Ensuite, chaque carrefour a été vérifié pour confirmer que tous les croisements formant un seul carrefour sont contrôlés par le même système de contrôle de circulation (i.e., un feu de circulation, un arrêt, etc.) (Saunier et al., 2014). Il est important de noter que, même si le présent projet s'intéresse au réseau municipal seulement, les carrefours à l'interface du réseau municipal et du réseau du MTQ sont aussi pris en compte.

De cette manière, les objets qui seront analysés dans ce projet sont :

- Carrefour : un croisement ou un ensemble de croisements contrôlé par un même système de contrôle de circulation (voir Figure 3-4);
- Tronçon : une route entre deux carrefours. C'est-à-dire qu'une route ayant le même nom est coupée en plusieurs sous-sections à chaque carrefour pour créer plusieurs tronçons comme montré dans la Figure 3-5.

La région à l'étude possède alors un total alors de 2 275 carrefours sur son réseau municipal, dont 10 % sont à l'interface avec le réseau du MTQ et un total de 3 537 tronçons comme montré dans le Tableau 3-2.



Figure 3-4: Différence entre un croisement et un carrefour

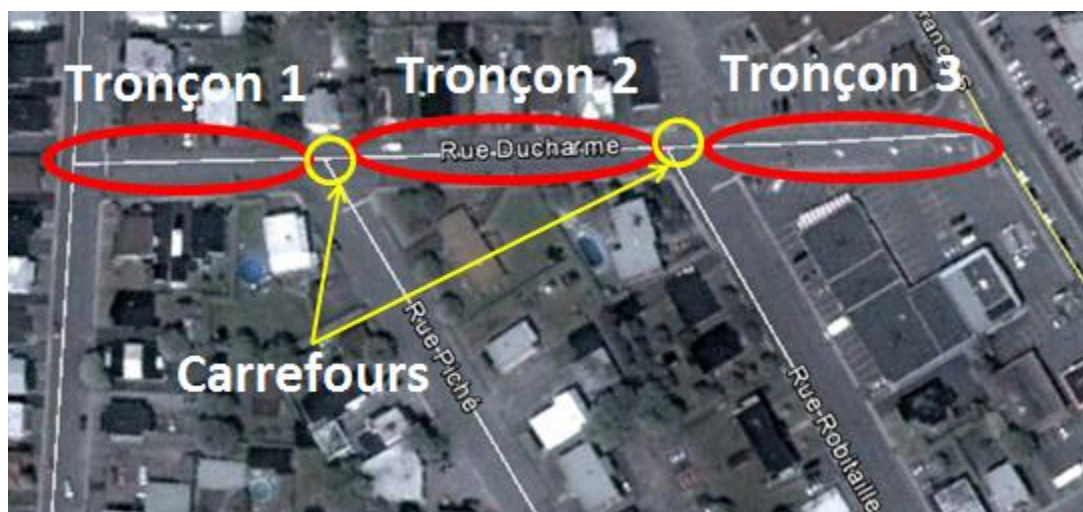


Figure 3-5: Représentation des tronçons

Tableau 3-2: Nombre d'objets à analyser

Objets à analyser	Nombre (kilomètres)
Carrefours	2275 carrefours, répartis entre <ul style="list-style-type: none"> • 1 934 dans le réseau municipal • 341 à l'interface du réseau municipal et du réseau du MTQ
Tronçons	3537 tronçons (1510.43 km) réparties entre <ul style="list-style-type: none"> • 2 809 locales urbaines (553,73 km) • 460 locales rurales (858,30 km) • 202 artères urbaines (31,61 km) • 66 collectrices municipales (66,79 km)

3.1.2 Accidents

Les accidents ont été extraits à partir de l'application DSR du MTQ. De 10 697 accidents survenus dans la région d'étude entre 2007 et 2011, seulement 9 772 ont pu être géolocalisés. Parmi les accidents géolocalisés, un total de 7 080 se sont produits dans le réseau routier municipal (Saunier et al., 2014). Il y a eu 19 accidents mortels, 92 accidents graves, 1 102 accidents légers et 5 837 accidents avec dommages matériels seulement, comme montré dans le Tableau 3-3.

Tableau 3-3: Gravité et nombre d'accidents survenus sur le réseau municipal de la MRC d'Arthabaska entre 2007 et 2011

Gravité	Nombre d'accidents	Proportion de tous les accidents (%)
Mortel	19	0,27
Grave	92	1,30
Léger	1 102	15,56
Matériel majeur	4 095	57,84
Matériel mineur	1 772	25,03
Total	7 080	100

3.2 Ensemble de données

Une fois que les entités à analyser sont définies, l'étape suivante est de recenser et recueillir toutes les données et attributs nécessaires des accidents et des entités à analyser dans des ensembles de données. Les trois ensembles de données recensent les accidents, les carrefours et les tronçons avec leurs attributs respectifs.

3.2.1 Ensemble de données des accidents

La première base de données comprend les données des rapports de police de la SAAQ, soit les données recueillies sur la scène de tous les 7 080 accidents survenus et geolocalisés sur le réseau municipal de la région d'étude. Les rapports de police rendus disponibles sont anonymes, c'est-à-dire qu'ils ne permettent pas d'identifier les conducteurs impliqués. Les rapports concernent les personnes (sexe, âge, gravité des blessures, etc.), les types de véhicules impliqués (automobile, véhicule lourd, véhicule d'urgence, etc.) et les circonstances et caractéristiques de l'accident (aspect, nature et état de la chaussée, type de route, causes et lieu de l'accident, signalisation, mouvement des véhicules, visibilité, éclairage, conditions météorologiques, heure de l'accident, environnement, etc.). En tout, l'ensemble de données des accidents contient un total de 112 variables descriptives de chaque accident qui sont présentées à l'Annexe 1. Il est important de noter que parmi les 112 variables descriptives, 9 variables descriptives additionnelles ont été ajoutées par l'équipe de recherche Polytechnique-INRS dans le cadre de son Diagnostic de sécurité routière en milieu municipal grâce à l'exploitation des données

géomatiques d'AQ avec un logiciel SIG (Saunier et al., 2014). Ces variables se trouvent dans le Tableau 3-4.

Tableau 3-4: Variables descriptives des accidents ajoutées par l'équipe INRS-Polytechnique (Saunier et al., 2014)

Variable descriptive	Description
IDTroncon	Identifiant unique du tronçon avec lequel l'accident est associé
ID_IntersectionPProche	Identifiant unique de l'intersection la plus proche le long du réseau routier
Dist_InterstPProche	Distance en mètres jusqu'au carrefour le plus proche
X_WGS84	Coordonnée X du point en WGS 1984 (degré décimal)
Y_WGS84	Coordonnée Y du point en WGS 1984 (degré décimal)
X_Lambert	Coordonnée X du point en WGS 1984 (Conique conforme Lambert)
Y_Lambert	Coordonnée Y du point en WGS 1984 (Conique conforme Lambert)
ID_CarrefourPProche	Identifiant unique du carrefour le plus proche le long du réseau routier
MuniMTQ	Indique si l'accident a eu lieu sur le réseau du MTQ, sur le réseau municipal ou à moins de 20 mètres d'un croisement municipal / MTQ.

Les entités à analyser (carrefour ou tronçon) sont liées aux accidents grâce aux variables descriptives additionnelles assemblées par l'équipe de recherche Polytechnique-INRS « IDTroncon », « ID_CarrefourPProche » et « Dist_InterstPProche ». Cette dernière variable contient la distance de chaque accident au carrefour le plus proche, ce qui permet non seulement de se renseigner sur la localisation de l'accident vis-à-vis les carrefours mais aussi de relier un accident à un site à analyser en regardant également la variable « ID_CarrefourPProche ». La variable « IDTroncon » relie tous les accidents à un tronçon en particulier. Finalement, la variable « MuniMTQ » permet de distinguer si les accidents se sont produits sur le réseau municipal, sur le réseau du MTQ ou à l'interface du réseau municipal et de celui du MTQ.

3.2.2 Ensemble de données : carrefours

L'ensemble de données de carrefours a comme objectif de recueillir le nombre maximum d'attributs de chaque carrefour de la MRC afin d'appliquer dans un deuxième temps une méthode d'identification de sites problématiques. L'ensemble de données des carrefours comporte deux sous-ensembles de données, le premier sous-ensemble contient des attributs basés sur un logiciel SIG et le deuxième sous-ensemble contient des attributs géométriques. Le premier sous-ensemble, comme l'ensemble de données des accidents, a été assemblé par l'équipe INRS-Polytechnique et contient les 37 attributs descriptifs présentés à l'Annexe 2. Les sources de ces attributs sont les fichiers géomatiques d'AQ qui ont été exploités grâce à un logiciel SIG. Ces attributs incluent l'affectation du sol autour du carrefour, la distance jusqu'au centre-ville de Victoriaville, la classification des tronçons connectés au carrefour, etc.

Le deuxième sous-ensemble de données des carrefours a comme objectif de compléter le premier ensemble de données en recueillant des attributs qui ne peuvent pas être obtenus en exploitant des données géomatiques par un logiciel SIG. Il a été constitué manuellement et enregistré dans une base de données relationnelle avec le logiciel Microsoft Access. Tout d'abord, avant de créer ce deuxième ensemble de données, un modèle conceptuel a été construit pour identifier les attributs additionnels à collecter et leurs relations (voir Figure 3-6).

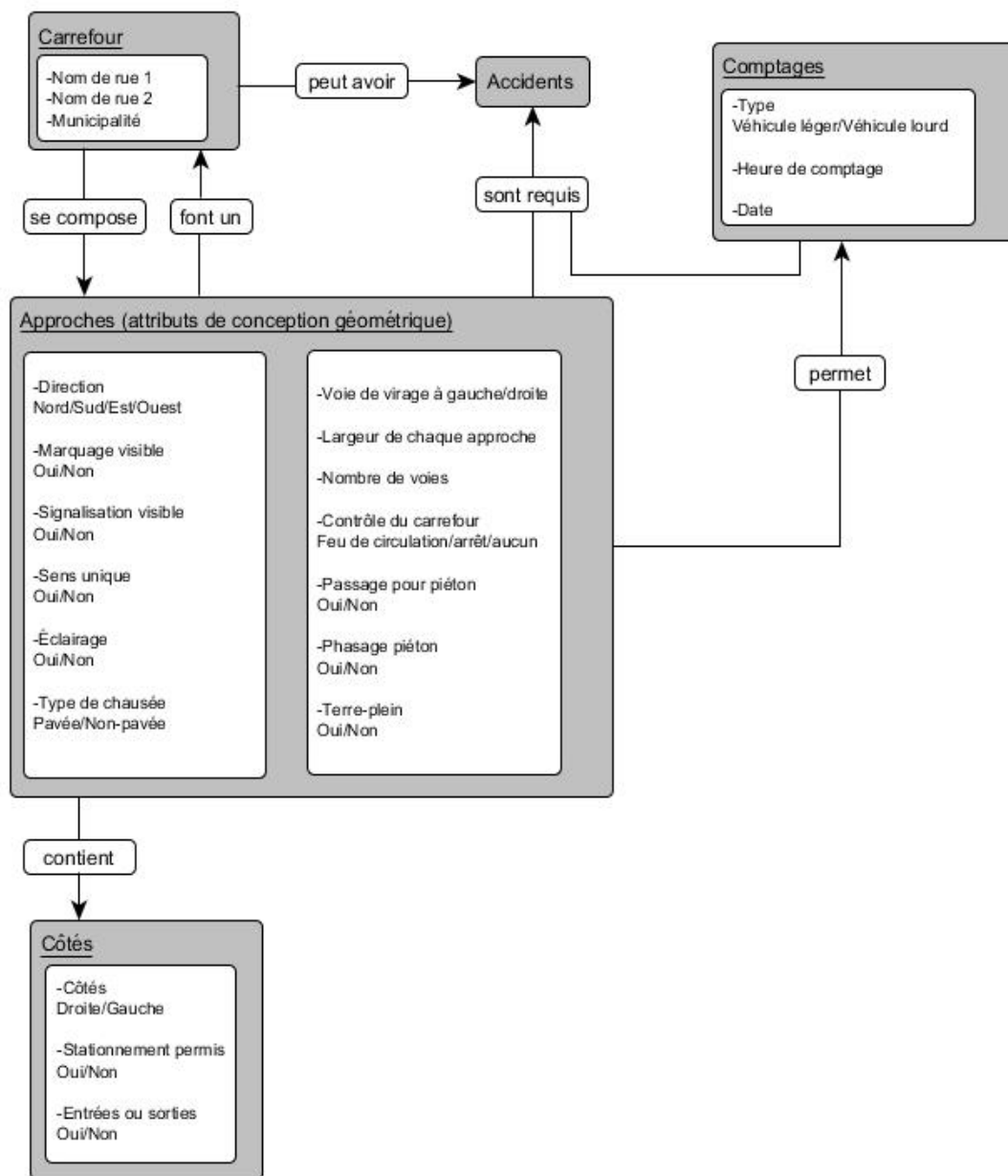


Figure 3-6: Modèle conceptuel du sous-ensemble de carrefours

Suite à la création du modèle conceptuel, la base de données des attributs additionnels est construite avec les attributs décrits dans le Tableau 3-5.

Tableau 3-5: Type de données des attributs collectés dans l'ensemble de données complémentaires

Attribut	Type de données
Carrefours	
Géométrie du carrefour	Catégorielle (valeur possible : croix, T, décalé)
Municipalité	Catégorielle (valeur possible : une des municipalités)
Contrôle du carrefour	Catégorielle (valeur possible : feux de circulation, arrêts secondaires, arrêts partout, aucun)
Noms de rues arrivant aux carrefours	Alphanumérique
Approches du carrefour	
Voie de virage à gauche/droite exclusive	Binaire
Marquage sur la chaussée (présence de signalisation horizontale)	Binaire
Largeur	Numérique
Signalisation par approche (présence des panneaux de signalisation d'indication)	Binaire
Pavé	Binaire
Terre-plein	Binaire
Sens unique	Binaire
Nombre de voies	Numérique
Éclairage	Binaire
Stationnement par côté	Binaire
Entrées/sorties par côté	Binaire

Ainsi, un total de 14 attributs additionnels ont été définis et saisis à l'aide d'une interface dans la base de données Access. Les choix de réponse de chaque attribut sont de type binaire ou de type catégoriel (c'est-à-dire une réponse parmi les réponses possibles) afin d'éviter des erreurs, tel que montré dans la Figure 3-7.

Figure 3-7: Exemple d'un écran de l'interface graphique d'entrée des attributs des approches, avec des exemples d'attributs catégoriels et binaires

La principale source de données utilisée pour remplir ce deuxième ensemble de données a été Google Maps et son extension Street View. Les photos prises par Google Maps² et Street View³ de la MRC d'Arthabaska datent de 2009, année qui coïncide avec les accidents de la base de données des accidents (2006-2011). Néanmoins, seul Google Maps, qui permet la saisie de la géométrie des carrefours, est disponible pour toute la MRC. Google Street View n'est pas disponible pour tous les carrefours ruraux. Ainsi, un total de 1 647 carrefours (72 %) ont été saisis complètement dans l'ensemble de données complémentaire des carrefours soit par une

² Google Maps est un service partiellement payant de cartographie en ligne lancé en 2004.

³ Google Street View est un complément à Google Maps et Google Earth. Lancé en 2007, il permet de naviguer virtuellement (avec une vue à 360°) dans les rues de plusieurs endroits du monde.

visite virtuelle effectuée par Google Street View, soit par une visite sur le terrain (voir section 4.3). La visite virtuelle des carrefours consistait à utiliser Google Street View pour visualiser et identifier les attributs de chaque site. Par exemple, comme montré dans la Figure 3-8, une des approches du carrefour du boulevard Labbé Nord et de la rue Notre-Dame Est à Victoriaville contient un passage pour piéton, 5 voies, une voie de virage à droite exclusive, et un terre-plein central. De plus, le marquage et la signalisation y sont visibles. La saisie des attributs pour chaque carrefour a pris environ 5 minutes, pour un total de 190 heures de travail.⁴



Figure 3-8: Exemple de saisie des attributs d'une approche d'un carrefour

3.2.3 Ensemble de données : tronçons

Le dernier ensemble de données est formé des 3 537 tronçons du réseau municipal de la MRC d'Arthabaska et a comme objectif d'identifier le nombre maximum d'attributs de chaque tronçon de la MRC afin d'appliquer dans un deuxième temps une méthode d'identification de sites problématiques. Contrairement à l'ensemble de données de carrefours, aucun modèle conceptuel n'a été créé pour les tronçons, car le modèle conceptuel de carrefours a servi pour organiser la base de données d'attributs complémentaires. Ces attributs complémentaires ont été saisis par des visites de terrain virtuel comme expliqué dans la section 3.2.2 qui auraient été trop longues considérant la longueur des tronçons du milieu rural. Ainsi, l'ensemble de données de tronçons contient seulement 51 attributs descriptifs qui proviennent de l'exploitation des fichiers

⁴ La saisie des attributs a été rendue possible grâce à l'aide de Monsieur Tahir Abdoul-karim.

géomatiques du réseau routier d'AQ avec un logiciel SIG et qui a été assemblé par l'équipe INRS-Polytechnique comme montré dans l'Annexe 3. Ces attributs comprennent la longueur du tronçon, l'affectation du sol autour du tronçon, la classification fonctionnelle du tronçon, la distance jusqu'au centre-ville de Victoriaville⁵, et la limite de vitesse.

3.3 Collecte de données

Le débit véhiculaire des sites à analyser est requis afin d'appliquer des méthodes d'identification et une caractérisation des sites problématiques. Une collecte des données suivantes a alors été effectuée au mois de juin 2013: données de circulation des véhicules (carrefours et tronçons), et caractéristiques des sites afin de compléter et valider les bases de données (sections 3.2.2 et 3.2.3).

3.3.1 Outils pour la collecte de données

Les deux outils principaux à être utilisés ont été des plaques de comptage et des formulaires de comptage et d'observation des environnements routiers.

3.3.1.1 Plaques de comptage

Les plaques magnétiques sont des capteurs automatiques de mesure du débit de véhicules, de la vitesse des véhicules détectés et de classification des véhicules détectés selon leur longueur. Quatre plaques magnétiques de la marque Vaisala, modèle Nu-Metric NC200 ont été utilisées durant la collecte de données. L'installation de chaque plaque magnétique prend entre 5 et 10 minutes et elles sont installées au milieu de la voie comme montré dans la Figure 3-9. Lors de l'installation de plaques, une voie de circulation est fermée, des cônes orange (voir Figure 3-10) ont été placées en forme diagonale afin de protéger les installateurs et une flèche lumineuse sur le véhicule a été utilisée afin d'être conforme avec le Tome V – Signalisation Routière du MTQ (voir Annexe 6).

⁵ La distance jusqu'au centre-ville a été calculée à vol d'oiseau par rapport au carrefour Perreault/Notre-Dame Est à Victoriaville en prenant la moyenne de la distance au début et la fin du tronçon et en divisant par deux.



Figure 3-9: Plaques magnétiques ancrées au sol (Source : collecte de données, 2013)



Figure 3-10: Installation des cônes orange lors des fermetures de voies (Source : collecte de données, 2013)

3.3.1.2 Formulaires de collecte de données

Les formulaires de collecte de données ont été le deuxième outil utilisé pour la collecte de données. Les formulaires collectent des informations relatives aux caractéristiques géométriques ainsi qu'au débit véhiculaire d'un tronçon ou d'un carrefour; des exemples de formulaires sont montrés à l'Annexe 7. Les formulaires C et D ont été utilisés afin de compter le nombre de véhicules et de connaître le débit véhiculaire d'un site, et les catégories de véhicules ou d'utilisateurs des sites comptabilisés sont :

- Véhicules légers (incluent les véhicules routiers, les véhicules utilitaires sport et les camionnettes de toute taille);
- Véhicules lourds (incluent les camions de déménagement/fourgons grand volume, les ambulances et les camions non articulés);
- Piétons;
- Cyclistes.

Les formulaires A et B ont été utilisés afin de collecter des caractéristiques de sites. Il est important de noter que le formulaire A pour les carrefours collecte les mêmes caractéristiques que celles enregistrées dans la base de données de carrefours (section 3.2.2) et a servi à valider les données recueillis par Google Street View. Le formulaire B pour les tronçons collecte non seulement les mêmes attributs que sa base de données respective (section 3.2.3) mais aussi des attributs additionnels : la largeur du tronçon, le type de chaussée, le type d'accotement, et la présence d'entrées et de sorties au long du tronçon. Néanmoins, les attributs additionnels collectés n'ont pas été utilisés dans le cadre du projet parce que le nombre de tronçons ayant eu une visite de terrain est faible par rapport au nombre des tronçons dans toute la région à l'étude.

3.3.2 Test des outils de collecte sur le terrain

Avant de débiter la collecte de données sur la région à l'étude, une visite préliminaire a été effectuée afin d'essayer les plaques de comptage et connaître le nombre de personnes requises pour collecter des données sur un site donné. La visite préliminaire a eu lieu entre le 14 et le 16 août 2012, et les plaques ont été installées entre 6 h et 18 h sur une section du boulevard des Bois-Francis à Victoriaville, du rang Lainesse à Saint-Norbert d'Arthabaska, de la route Pouliot à Saint Christophe d'Arthabaska, et du 12^e rang à Sainte Séraphine. De plus, les formulaires de tronçons ont été utilisés pendant 3 heures durant la période de collecte des plaques pour comparer les résultats des deux méthodes. Le Tableau 3-6 montre que pour la journée du 14 août 2012, la différence entre le débit véhiculaire collecté par les plaques et le débit collecté manuellement est assez faible dans son ensemble. Une différence de plus de 15 % entre les deux outils survient entre 13 h 15 et 14 h 30, et ce dans la voie n°1 car le nombre de véhicules circulant sur cette voie est trop élevé pour être compté par une seule personne (en plus du fait que cette personne devait aussi comptabiliser les véhicules de la voie n°2). De plus, les plaques ne peuvent pas

comptabiliser les motocyclettes ou les véhicules qui ne circulent pas directement au-dessus de la plaque. C'est-à-dire qu'un véhicule circulant sur une voie mais ne passant pas au-dessus sur la plaque ne sera pas comptabilisé; ceci se produit notamment avec les motocyclettes.

Tableau 3-6: Différence des débits véhiculaires obtenus par les formulaires et les plaques de comptages









Rue Bois Francs (46.05382,-71.94201)									
Manuel					Plaques				
Victoriaville					Victoriaville				
Rue Belvedere									
Direction					Direction				
Numéro de voie	1	2	3	4	Numéro de voie	1	2	3	4
12h30-12h45					12h30-12h45				
Veh. Légers	134	53	46	84	Veh. Légers	116	50	46	85
Veh. Lourds	1	1	1	2	Veh. Lourds	11	1	2	2
Total	135	54	47	86	Total	127	51	48	87
Milieu ou motos	4		6		% d'erreur	6.30	5.88	2.08	1.15
12h45-13h00					12h45-13h00				
Veh. Légers	154	68	55	83	Veh. Légers	149	64	53	85
Veh. Lourds	5	0	0	3	Veh. Lourds	15	7	2	5
Total	159	68	55	86	Total	164	71	55	90
Milieu ou motos	23		8		% d'erreur	3.05	4.23	0.00	4.44
13h00-13h15					13h00-13h15				
Veh. Légers	130	56	52	96	Veh. Légers	134	49	53	96
Veh. Lourds	4	1		6	Veh. Lourds	12	4	2	8
Total	134	57	52	102	Total	146	53	55	104
Milieu ou motos	22		7		% d'erreur	8.22	7.55	5.45	1.92
13h15-13h30					13h15-13h30				
Veh. Légers	120	52	64	88	Veh. Légers	131	60	59	90
Veh. Lourds	6	4	1	7	Veh. Lourds	19	2	7	9
Total	126	56	65	95	Total	150	62	66	99
Milieu ou motos	4		7		% d'erreur	16.00	9.68	1.52	4.04
13h30-13h45					13h30-13h45				
Veh. Légers	109	43	48	118	Veh. Légers	122	41	46	109
Veh. Lourds	8	5	1	3	Veh. Lourds	10	8	2	8
Total	117	48	49	121	Total	132	49	48	117
Milieu ou motos	39		5		% d'erreur	11.36	2.04	2.08	3.42
13h45-14h00					13h45-14h00				
Veh. Légers	116	41	62	103	Veh. Légers	129	39	64	104
Veh. Lourds	2	4	2	3	Veh. Lourds	10	7	3	6

Tableau 3-6: Différence des débits véhiculaires obtenus par les formulaires et les plaques de comptages (suite)

Rue Bois Francs (46.05382,-71.94201)									
Manuel					Plaques				
Victoriaville					Victoriaville				
Rue Belvedere									
Direction					Direction				
Numéro de voie	1	2	3	4	Numéro de voie	1	2	3	4
Total	118	45	64	106	Total	139	46	67	110
Milieu ou motos	33		6		% d'erreur	15.11	2.17	4.48	3.64
14h00-14h15					14h00-14h15				
Veh. Légers	81	45	51	105	Veh. Légers	94	43	57	103
Veh. Lourds	5	0	6	8	Veh. Lourds	9	5	5	9
Total	86	45	57	113	Total	103	48	62	112
Milieu ou motos	32		7		% d'erreur	16.50	6.25	8.06	0.89
14h15-14h30					14h15-14h30				
Veh. Légers	103	50	50	99	Veh. Légers	110	51	52	106
Veh. Lourds	5	4	6	10	Veh. Lourds	7	5	4	6
Total	108	54	56	109	Total	117	56	56	112
Milieu ou motos	28		12		% d'erreur	7.69	3.57	0.00	2.68
Total:	1410		1263		Total:	1514		1288	
					% d'erreur	6.87		1.94	

La vérification du déroulement de la collecte de données aux carrefours a été effectuée aux carrefours Bois-Francs et St-Jean Baptiste à Victoriaville, Léon-Couture et Pie-X à Saint Christophe d'Arthabaska durant l'heure de pointe du soir (16 h-18 h). Cette vérification de collecte de données aux carrefours a permis de constater qu'un comptage durant les heures de pointe dans un milieu urbain tel que Victoriaville nécessite au moins deux personnes, tandis qu'une collecte de débit véhiculaire dans un milieu rural ne nécessite qu'une seule personne.

La grandeur de la région à l'étude, ainsi que les contraintes de budget, de temps et de ressources n'ont pas permis d'effectuer une collecte de données de tous les sites de la région. C'est pour cela que la ville de Victoriaville a proposé de s'occuper des comptages de quelques sites de son territoire. La collecte de données a alors principalement visé les autres municipalités et a duré 3

semaines, ce qui a permis, avec les outils et ressources disponibles, de faire des comptages manuels avec les formulaires pour 63 carrefours durant les heures de pointe, soit le matin (7 h-9 h) ou le soir (16 h-18 h). Des comptages automatiques à l'aide des plaques ont aussi été effectués sur 31 tronçons entre 6 h et 18 h. La ville de Victoriaville a effectué des comptages manuels dans un total de 41 carrefours durant l'heure de pointe du matin (7 h-9 h) ou du soir (16 h-18 h) et de 29 tronçons, et ce, durant une période d'une durée variant entre 12 et 72 heures.

Afin de pouvoir choisir les sites où effectuer les collectes de données, un regroupement de sites similaires a été effectué. Ensuite, les sites ont été choisis dans l'ordre décroissant du nombre total d'accidents jusqu'à atteindre un pourcentage d'environ 4 % par groupe. Toutefois, la proximité entre les sites a aussi été un facteur pris en considération lors du choix de sites afin de minimiser les distances à parcourir. Par ailleurs, les sites où une collecte a été réalisée par la ville de Victoriaville sur leur propre terrain ont été choisis de manière aléatoire afin de cibler le débit véhiculaire moyen des sites au lieu de cibler les sites enregistrant des accidents. Finalement, les caractéristiques des sites qui ont fait l'objet d'une collecte à l'aide des formulaires ont ensuite été comparées et validées avec les caractéristiques relevées par visite virtuelle (Google Street View). Le regroupement de sites est expliqué dans les sections suivantes.

3.3.2.1 Regroupement de tronçons

Après plusieurs itérations de regroupement manuel de tronçons selon leurs caractéristiques décrites dans la section 3.2.3, la densité de la population vivant le long du tronçon ainsi que le type de tronçon ont été gardées comme caractéristiques pour le regroupement. L'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) propose un seuil de 150 habitants par kilomètre carré pour distinguer à l'intérieur d'une même région les personnes qui vivent à la campagne et dans les petites villes de celles qui vivent dans des milieux plus urbanisés (Statistique Canada, 2001). Tel qu'expliqué dans la section 3.1, le réseau municipal se compose de quatre catégories de routes : locale urbaine, locale rurale, artère urbaine et collectrice municipale. Les tronçons de type « locale urbaine » représentent 79 % de tous les tronçons du réseau municipal. Afin d'avoir des groupes de tronçons de taille plus équilibrée comme montré au Tableau 3-7, les locales urbaines sont divisées davantage en prenant la densité de population proposée par l'OCDE comme seuil afin de créer le Groupe 1 : locale urbaine de forte densité, tronçon de type locale urbaine ayant une densité de 150 habitants par km² ou plus, et le Groupe

2 : locale urbaine de faible densité, tronçon de type locale urbaine ayant une densité inférieure à 150 habitants par km².

Tableau 3-7: Regroupement de tronçons pour la collecte de données

Groupes de tronçons	Tronçons	Total à collecter	Collecté par la ville de Victoriaville	Collecté par l'équipe de Polytechnique	Proportion de l'ensemble des tronçons du groupe
Groupe 1: locale urbaine de forte densité	1 850	23	23	0	1,24
Groupe 2: locale urbaine de faible densité	959	17	4	13	1,77
Groupe 3: artère urbain	202	5	2	3	2,48
Groupe 4: locale rurale	460	11	0	11	2,39
Groupe 5: collectrice municipale	66	4	0	4	6,06
Total	3 537	60	29	31	1,70

3.3.2.2 Regroupement de carrefours

Afin d'également avoir des groupes de carrefours de taille raisonnable, plusieurs itérations de regroupement manuel de carrefours selon leurs caractéristiques ont été essayées. Trois critères ont été gardés afin d'avoir les 7 groupes du Tableau 3-8 : 1. les types de tronçons arrivant au carrefour, 2. l'affectation du sol dans un rayon de 50 m du carrefour et 3. la densité de population dans un rayon de 50 m. Les types de tronçons possibles arrivant à un carrefour sont : un tronçon du réseau supérieur, une collectrice municipale, une artère urbaine, une locale urbaine ou une locale rurale.

Les groupes de carrefours sont caractérisés par les types des routes arrivant au carrefour et une hiérarchie basée sur l'ordre décroissant de l'achalandage moyen de chaque type de tronçon :

1. Réseau supérieur;
2. Collectrice municipale;
3. Artère urbaine;
4. Locale urbaine;
5. Locale rurale.

Ainsi, le premier critère pour la création des groupes de carrefours était de prendre le type du tronçon le mieux classé (le plus achalandé) arrivant au carrefour (Groupe 1, Groupe 3 et Groupe 6) comme montré au Tableau 3-8. Par exemple, un carrefour comportant trois tronçons de types collectrice municipale, locale urbaine et locale rurale serait classé dans le Groupe 6 puisqu'il est formé d'au moins un tronçon de type collectrice municipale. Le deuxième critère du regroupement des carrefours du Tableau 3-8 s'applique seulement aux carrefours comprenant un tronçon de type réseau supérieur (Groupe 2 et Groupe 7). Ce deuxième critère consiste à diviser les carrefours ayant une affectation du sol principalement du type périmètre urbain dans un rayon de 50 mètres (Groupe 2), et les carrefours ayant une autre affectation (Groupe 7). Finalement, le dernier critère du regroupement des carrefours du Tableau 3-8 s'applique seulement aux carrefours dont le tronçon le mieux classé est de type locale urbaine (Groupe 4 et Groupe 5). Si le carrefour a une densité égale ou supérieure à 150 habitants par km² dans un rayon de 50 mètres, il sera inclus dans le Groupe 5, sinon il sera inclus dans le Groupe 4.

Tableau 3-8: Regroupement de carrefour pour la collecte de données

Groupes de carrefours	Carrefours	Total à collecter	Collecté par la ville de Victoriaville	Collecté par l'équipe de Polytechnique	Proportion de l'ensemble des carrefours du groupe
Groupe 1: artère urbain	160	10	5	5	6,3
Groupe 2: MTQ/mun Urbain	151	7	4	3	4,6
Groupe 3: locale rurale	147	14	0	14	9,5
Groupe 4: local urbaine de faible densité	502	25	8	17	5,0
Groupe 5: local urbaine de forte densité	1035	32	19	13	3,1
Groupe 6: collectrice municipal	57	7	3	4	12,3
Groupe 7: MTQ/mun autres	223	9	2	7	4,0
Total	2 275	104	41	63	4,6

3.4 Préparation et exploration de données

La première étape suivie pour explorer les données des accidents et identifier les tendances a été d'identifier les informations manquantes ou inutiles. La plupart des réponses (i.e., les variables descriptives) aux rapports de police sont de type nominal (catégoriel), c'est à dire que les rapports sont composés de plusieurs sections de questions à choix multiples. Cet ensemble de données comporte aussi un grand nombre de valeurs manquantes parce que les policiers ne remplissent pas complètement le rapport de police lorsque 1) l'accident n'a pas causé de dommages physiques aux personnes impliquées, 2) les policiers ne peuvent pas répondre à une question (e.g., la pente de la route) ou 3) si selon le policier, l'accident n'a pas causé des dommages matériels de plus de 2 000\$ (c'est-à-dire un accident ayant une gravité type « matériel mineur ») (SAAQ, 2014). De cette manière, lorsque la réponse est manquante, elle est remplacée par une réponse nommée « non précisée ». De plus, plusieurs questions des rapports de police sur les accidents contiennent deux variables différentes pour décrire la même réponse, une variable qui représente le code attribué à la réponse choisie (code utilisé à l'interne à la SAAQ), et une deuxième variable qui est la description ou le nom textuel correspondant au code de la réponse. Par exemple, deux variables pour décrire la gravité existent : COD_TYPE_GRAVT et DES_TYPE_GRAVT, où les choix de réponses de la variable COD_TYPE_GRAVT sont 5, 4, 3, 2 et 1 et les choix de réponses de la variable DES_TYPE_GRAVT sont Matériel mineur, Matériel majeur, Légère, Grave et Mortel, respectivement. Par conséquent, toutes les variables représentant des codes (e.g., COD_TYPE_GRAVT) ou les variables qui sont majoritairement « non-précisées » ont été supprimées. Les variables supprimées sont montrées à l'Annexe 1.

Cependant, même si la variable décrivant la vitesse autorisée du site où l'accident a eu lieu était manquante dans les rapports de police pour 3 647 accidents (51 % des accidents), elle a été complétée en prenant la vitesse limite du tronçon (disponible dans l'ensemble des données des tronçons) auquel l'accident a été associé. La limite de vitesse indiquée dans l'ensemble de données de tronçons ne tient pas compte des modifications quant à la limite de vitesse que les municipalités ont pu faire sur leurs tronçons, surtout pour les tronçons autorisant une vitesse inférieure à 50 km/h. La règle a alors été de conserver la limite de vitesse indiquée dans le rapport de police si elle est inférieure ou égale à 50 km/h, sinon la vitesse indiquée dans la base de données de tronçon est conservée. Si l'accident s'est produit à une distance de 0 à 5 mètres d'un

carrefour, la vitesse du tronçon arrivant au carrefour avec la vitesse la plus élevée a été conservée. La règle est montrée dans la Figure 3-11.

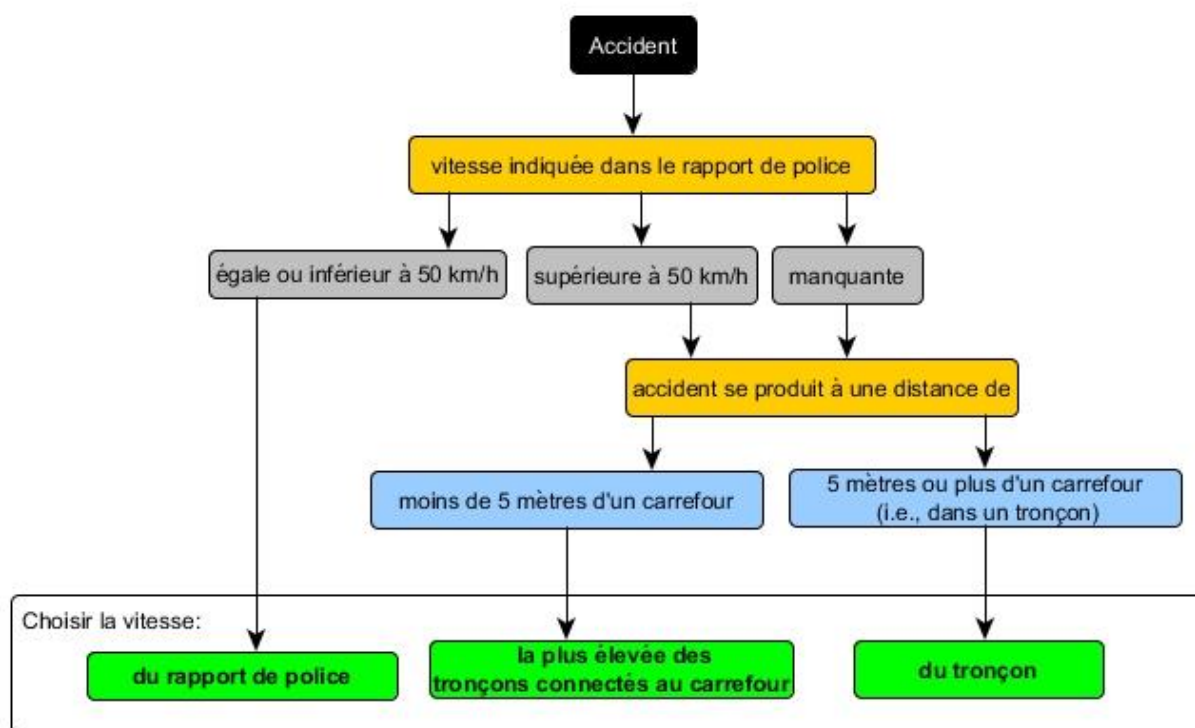


Figure 3-11: Enrichissement de la variable vitesse des accidents

Par la suite, un regroupement de données a dû être effectué pour agréger les données similaires en raison de leur faible présence dans l'ensemble de données d'accidents. La réalisation du regroupement a alors consisté à transformer certaines données continues en variables nominales et à agréger certaines données similaires. Tout au long du regroupement, la fréquence et la signification de la variable ont été prises en compte. Le Tableau 3-9 montre un exemple de regroupement de la variable « type d'impact »; tous les accidents impliquant un type d'animal ont été regroupés dans la catégorie « animal », tous les accidents où le véhicule n'a pas frappé un autre objet ou véhicule ont été regroupés dans la catégorie « sans collision », tous les accidents ayant impliqué un objet fixe ont été regroupés dans la catégorie « objet fixe », et finalement, les accidents dont la réponse est manquante pour cette variable sont dans la catégorie « non précisée ». Les catégories impliquant des cyclistes, des piétons et un autre véhicule routier ont été conservées. Le Tableau 3-10 montre un exemple de discrétisation de la variable « saison », une variable continue. La saison de l'hiver regroupe le plus grand nombre de mois selon des

discussions avec les partenaires locaux du projet, suivie par la saison du printemps. Le Tableau 3-11 montre la création d'une variable nominale de proximité du carrefour à partir de la variable continue, «Dist_InterstPProche » qui lie les accidents au carrefour le plus proche. L'accident appartient à la catégorie « dans un carrefour » lorsqu'il s'est produit à une distance de moins de 5 mètres du centre du carrefour, à la catégorie « près d'un carrefour » lorsqu'il s'est produit à une distance de 5 à 50 mètres du carrefour le plus proche, et à la catégorie « route » lorsqu'il s'est produit à plus de 50 mètres du carrefour le plus proche. Le Tableau 3-12 montre les regroupements et modifications faits pour toutes les variables conservées. Les regroupements des variables « état de la chaussée », « provenance des conducteurs », « causes de l'accident », et « code d'impact » sont présentés à l'Annexe 4.

Tableau 3-9: Regroupement pour la variable « type d'impact »

Catégories simplifiées	Catégories
Animal	Chevreuil Autre animal Gros animal Petit animal Animal Ours Caribou Original
Véhicule routier	Véhicule routier
Cycliste	Cycliste
Piéton	Piéton
Sans collision	Renversement Capotage submersion Quitte la chaussée Autre sans collision Train Amoncellement neige Feu/explosion
Objet fixe	Lampadaire Pilier Section de glissière Clôture/barrière Fossé Garde-fou Ponceau Poteau Support/feu de signalisation Arbre Borne-fontaine Extrémité glissière Bâtiment/mur Bordure/trottoir Objet projeté Section de glissière Objet temporaire Atténuateur d'impact Autre objet fixe Obstacle temporaire Pilier (pont/tunnel)
Non précisé	Réponse manquante

Tableau 3-10: Discrétisation de la variable « saison »

Catégorie simplifiée	Catégories
Hiver	Novembre Décembre Janvier Février Mars
Printemps	Avril Mai Juin
Été	Juillet Août
Automne	Septembre Octobre

Tableau 3-11: Création de la variable proximité du carrefour à partir de la variable intégrée, Dist_InterstPProche

Catégorie	Distance du carrefour le plus proche
Dans un carrefour	Entre 0 et 5 mètres
Près d'un carrefour	Entre 5 mètres et 50 mètres
Route	Plus de 50 mètres

Tableau 3-12: Catégories conservées des variables à analyser de l'ensemble de données des accidents

Variable	Catégories simplifiées ou dérivées
Autorité responsable	<ul style="list-style-type: none"> • Municipale • MTQ/muni • Non précisée
Proximité d'un carrefour	<ul style="list-style-type: none"> • Dans carrefour • Près de carrefour • Route
Classe de la route	<ul style="list-style-type: none"> • Artère urbaine • Collectrice municipale • Locale urbaine • Locale rurale
Vitesse limite de la route	<ul style="list-style-type: none"> • 50 km/h et moins • Entre 60 km/h et 70 km/h • 80 km/h et plus
Affectation du territoire	<ul style="list-style-type: none"> • Périmètre urbain • Aire patrimoniale • Agricole • Industrielle • Îlot déstructuré • Autres
Saison	<ul style="list-style-type: none"> • Hiver • Printemps • Été • Automne
Journée ouvrable	<ul style="list-style-type: none"> • Oui (lundi, mardi, mercredi, jeudi et vendredi) • Non (samedi et dimanche)
Période de la journée	<ul style="list-style-type: none"> • Nuit (24 h-5 h 59) • Matin (6 h-11 h 59) • Après-midi (12 h-15 h 59) • Début de soirée (16 h-19 h 59) • Soirée (20 h-23 h 59) • Non précisée
Nombre de véhicules impliqués	<ul style="list-style-type: none"> • Un seul véhicule • Deux véhicules • Trois véhicules ou plus
Gravité de l'accident	<ul style="list-style-type: none"> • Matériel mineur • Matériel majeur • Légère • Grave • Mortel
Moto impliquée	<ul style="list-style-type: none"> • Oui / Non
Tracteur routier impliqué	<ul style="list-style-type: none"> • Oui / Non
Camion impliqué	<ul style="list-style-type: none"> • Oui / Non
Bicyclette impliquée	<ul style="list-style-type: none"> • Oui / Non

Tableau 3-12: Catégories conservées des variables à analyser de l'ensemble de données des accidents (suite)

Variable	Catégories simplifiées ou dérivées
Au moins un conducteur est « jeune » (moins de 24 ans)	<ul style="list-style-type: none"> • Oui / Non
Au moins un conducteur « âgé » (plus de 75 ans)	<ul style="list-style-type: none"> • Oui / Non
Type d'accident	<ul style="list-style-type: none"> • Animal • Cycliste • Objet fixe • Piéton • Sans collision • Véhicule routier • Non précisée
État de la chaussée	<ul style="list-style-type: none"> • Sèche • Enneigée • Mouillée • Autre
Conditions météorologiques	<ul style="list-style-type: none"> • Clair • Couvert • Neige • Pluie • Autre
Type d'impact	<ul style="list-style-type: none"> • Autres, deux véhicules • Latéral • Arrière • Autres, un seul véhicule • Véhicule seul • Gauche opposant • Frontal • Changement de voie • Virages • Non précisée
Géométrie de la route	<ul style="list-style-type: none"> • Courbe/bas pente • Courbe/dans pente • Courbe/haute pente • Courbe/plat • Droite/bas pente • Droite/dans pente • Droite/haut pente • Droite/plat • En pente/courbe • En pente/droite • Non précisée
Cause de l'accident : conditions extérieures	<ul style="list-style-type: none"> • Oui / Non
Cause de l'accident : infrastructure	<ul style="list-style-type: none"> • Oui / Non
Cause de l'accident : vitesse	<ul style="list-style-type: none"> • Oui / Non

Tableau 3-12: Catégories conservées des variables à analyser de l'ensemble de données des accidents (suite)

Variable	Catégories simplifiées ou dérivées
Cause de l'accident : comportement	<ul style="list-style-type: none"> Oui / Non
Cause de l'accident : manœuvre ou conduite illégale	<ul style="list-style-type: none"> Oui / Non
Cause de l'accident : facultés affaiblies	<ul style="list-style-type: none"> Oui / Non
Nombre de personnes avec blessures légères	<ul style="list-style-type: none"> Aucune Plus que 1
Nombre de personnes avec blessures graves	<ul style="list-style-type: none"> Aucune Plus que 1
Nombre de personnes décédées	<ul style="list-style-type: none"> Aucune Plus que 1
Origine des conducteurs ⁶	<ul style="list-style-type: none"> Tous MRC : tous les conducteurs viennent de la MRC Au moins un MRC : au moins un conducteur ne vient pas de la MRC Personne : aucun conducteur ne vient de la MRC Non précisée : les informations sont manquantes ou non disponible

3.4.1 Corrélation

Tel que indiqué dans la section 2.2 de la revue de littérature, une analyse de corrélation (l'intensité de l'association linéaire entre les variables) doit être effectuée pour identifier les attributs colinéaires de l'ensemble de données des accidents, c'est-à-dire les attributs contenant de l'information redondante pouvant nuire aux méthodes statistiques et aux méthodes de classification. C'est ainsi que l'analyse de corrélation faite avec le logiciel statistique, STATA⁷ démontre une corrélation élevée entre les variables « nombre de personnes avec blessures légères », « nombre de personnes avec blessures graves », et « nombre de personnes décédés »

⁶ Cette variable a été créée à partir du fichier des conducteurs impliqués dans l'accident et elle a été fournie par l'équipe INRS-Polytechnique dans la création du Diagnostic et plan d'action de sécurité routière en milieu municipal (Saunier et al., 2014).

⁷ Le logiciel statistique utilisé dans ce projet est STATA, version 11.

avec la gravité de l'accident, comme montré dans le Tableau 3-13. De cette manière, ces trois variables ont été éliminées car elles étaient largement corrélées avec la gravité. Les corrélations des attributs conservés varient entre 0 et 0,450 et sont assez faibles dans l'ensemble (moyenne de 0,014, médiane de 0,015) et sont montrés à l'Annexe 5.

Tableau 3-13: Corrélation entre le type de gravité et le nombre de personnes avec blessures légères, ou graves et le nombre de personnes décédées

Variable	Gravité: légère	Gravité: grave	Gravité: mortel	N ^{bre} de victimes graves	N ^{bre} de victimes légères	N ^{bre} de victimes décédés
Gravité: légère	1					
Gravité: grave	0,0024	1				
Gravité: mortel	0,0005	0,0000	1			
N^{bre} victimes graves	0,0023	0,8276	0,0125	1		
N^{bre} victimes légères	0,7196	0,0016	0,0015	0,0053	1	
N^{bre} victimes décédés	0,0004	0,0000	0,8488	0,0227	0,0022	1

3.4.2 Méthode des k-moyennes

La dernière étape de la méthode utilisée pour extraire les tendances temporelles des données des accidents a été d'appliquer l'algorithme de regroupement des k-moyennes en utilisant le logiciel libre d'exploration de données Tanagra⁸. Cet algorithme nécessite de choisir le nombre de groupes à former k . Les objets restants, p_j , sont assignés au centre du groupe, m_i , le plus similaire, basé sur la distance entre l'objet et le centre. Tel qu'expliqué dans la section 2.2, le but de l'algorithme est de minimiser la distance des objets dans chacun des groupes, c'est-à-dire minimiser la fonction $V = \sum_{i=1}^k \sum_{j \in C_i} |p_j - m_i|^2$, où C_i , $i=1, \dots, k$, est la i^e des groupes. Cette étape est répétée jusqu'à ce que les objets ne changent plus de groupe, c'est à dire que les moyennes de

⁸ Tanagra est un logiciel libre d'exploration de données à des fins universitaires et de recherche. Il propose plusieurs méthodes d'analyse exploratoire de données, apprentissage statistique, et d'exploitation de base de données.

groupes ne changent plus. Néanmoins, cet algorithme ne traite pas les données nominales. Il est alors nécessaire de convertir les données catégorielles en variables binaires.

Une difficulté particulière de cette méthode est le choix du nombre de groupes. Il n'existe pas de méthode universelle pour y arriver. Le nombre de groupes a alors été identifié après plusieurs itérations et par essais-erreurs, en se basant en partie sur une première classification ascendante hiérarchique (CAH) de 30 groupes d'accidents trouvés par l'algorithme des k-moyennes. C'est-à-dire que les accidents ont tout d'abord été regroupés en 30 groupes par la méthode des k-moyennes, et que la méthode CAH a ensuite été appliquée à partir de ces groupes pour choisir le nombre de groupes selon des indicateurs calculés par cette méthode (voir Figure 3-12). Choisir la coupure pour laquelle la vraisemblance est forte entre les objets dans un même groupe et pour laquelle la dissemblance est forte entre les groupes revient à choisir le nombre de groupes approprié pour bien diviser les données. Cette coupure se fait en se basant sur deux indicateurs dans l'implémentation de la méthode CAH dans Tanagra : le ratio BSS (*between-cluster sum-of-squares*) et l'écart. La vraisemblance entre les objets est mesurée par le ratio BSS et la dissemblance entre les groupes est mesurée par l'écart. Des résultats élevés de ces deux indicateurs indiquent une bonne coupure (Saunier, 2011).

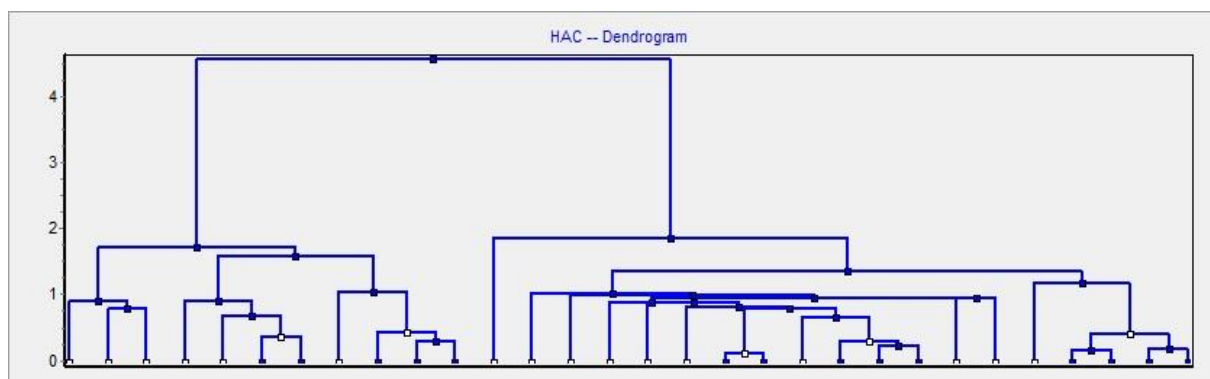


Figure 3-12: Classification ascendante hiérarchique des accidents de la MRC

3.5 Identification des sites problématiques

Deux méthodes d'identification des sites problématiques ont été utilisées dans le cadre de ce mémoire, la méthode simple de sécurité routière et une méthodologie bayésienne

3.5.1 Méthode simple de sécurité routière

La méthode d'identification des sites problématiques par les indicateurs les plus courants tels que la fréquence d'accidents (Équation 2-2), le taux d'accidents (Équation 2-3) et l'indice de gravité (Équation 2-5) est appelée pour la suite de ce mémoire la méthode simple de sécurité routière. La fréquence d'accidents de chaque site a été comparée aux seuils de 4 accidents pour les carrefours, et de 0,2 accident par km pour les tronçons. Si la fréquence d'accidents du site dépasse les seuils spécifiés, le site est considéré comme problématique. Le taux d'accidents nécessite le DJMA, qui n'est disponible que pour un petit nombre de sites. Pour ce faire, le débit horaire Q_j de chaque site j a été calculé comme suit :

- pour les carrefours, $Q_j = \frac{\sum_{i=1}^{Napp_j} Nvéh_i}{P \times Napp_j}$ où $Napp_j$ est le nombre d'approches du carrefour j , $Nvéh_i$ le nombre de véhicules entrants observés sur l'approche i pendant la période d'étude et P la durée de la période d'étude (en heures, soit 2 heures pendant l'heure de pointe du matin ou du soir) ;
- pour les tronçons, $Q_j = \frac{Nvéh_j^1 + Nvéh_j^2}{P \times (Nvoies_j^1 + Nvoies_j^2)}$ où $Nvéh_j^1$ et $Nvéh_j^2$ sont les nombres de véhicules observés sur le site j dans chaque direction de circulation pendant la période d'étude, $Nvoies_j^1$ et $Nvoies_j^2$ les nombres de voies dans chaque direction de circulation et P la durée de la période d'étude (en heures, soit 12 heures entre 6 h et 18 h pour une journée, ou $n \times 12$ pour n journées).

La moyenne des débits horaires de chaque groupe a été calculée et utilisée à la place du DJMA. La période de temps T utilisée dans l'Équation 2-3 est de 5 ans pour tous les sites. Le taux d'accidents d'un site est ensuite comparé à son taux critique (Équation 2-4) avec un niveau de confiance de 95 % (c'est-à-dire que $k=1.645$). Ainsi, si le taux d'accidents est plus élevé que le taux critique du site, le site est alors considéré comme problématique. Finalement, l'indice de gravité a aussi été calculé pour chaque site et comparé à l'indice de gravité moyen du groupe auquel le site appartient. Si l'indice de gravité du site est plus grand que celui du groupe, le site est alors considéré comme problématique. Il est important de noter que la méthode simple de sécurité routière du mémoire reprend les mêmes indicateurs que la méthode utilisée dans le cadre du projet pilote « Diagnostic et plan d'action de sécurité routière en milieu municipal » mené par l'équipe INRS-Polytechnique, mais elle diffère dans le sens que les tests des indicateurs ne sont pas calculés dans un ordre prédéfini comme montrée dans la Figure 2-3. Tous les indicateurs sont

calculés pour tous les sites de la région à l'étude. C'est-à-dire que la méthode simple de sécurité routière ne classe pas les sites problématiques dans les trois catégories présentée dans la Figure 2-3.

3.5.2 Méthode bayésienne

La méthodologie bayésienne appliquée dans le cadre de ce mémoire est indépendante de toute étape ou hypothèse de la méthode simple de sécurité routière (section 3.5.1) et de l'exploration de données (section 3.4). C'est-à-dire que le regroupement fait pour les carrefours et les tronçons ne s'applique pas à cette méthode.

Tel qu'expliqué dans la section 2.3.3, la méthode bayésienne nécessite d'estimer une fonction de performance de sécurité (SPF) dans sa procédure (Équation 2-11). Les SPF utilisées dans la méthode bayésienne empirique sont des modèles statistiques utilisés pour estimer la fréquence d'accidents, en fonction des caractéristiques du site. Les SPF ont été développées grâce à une modélisation statistique de régression de type binomial négatif en utilisant les données d'accidents de l'ensemble des sites analysés. Si disponible, le débit véhiculaire est une des variables indépendantes de la SPF. Néanmoins, puisque les débits véhiculaires ne sont pas disponibles pour chaque site, les attributs disponibles de chaque site (section 3.2.2 et section 3.2.3) qui sont potentiellement et indirectement liés aux débits véhiculaires et à la fréquence d'accidents ont été utilisés, comme les passages pour piétons, le nombre de voies circulables, ou les voies de virage exclusives. De plus, une analyse de corrélation a été effectuée au préalable pour identifier les attributs colinéaires parmi tous les attributs retenus pour décrire les sites afin d'éviter les attributs redondants comme montré à l'Annexe 8.

La méthode bayésienne a été appliquée pour les deux ensembles des carrefours et des tronçons. De plus, une SPF a été calculée en considérant tous les accidents et une autre considérant seulement les accidents avec des dommages corporels (accidents de gravité légère, grave et mortelle). Les étapes suivies pour appliquer la méthode bayésienne sont les suivantes :

1. Estimation de la fonction de la performance de sécurité (SPF);
2. Détermination du paramètre de dispersion (Φ) et des poids relatifs (w_i) ;
3. Détermination du nombre attendu d'accidents (EB).

Ainsi, la première application de la méthode bayésienne pour les sites à l'étude prend en considération tous les accidents qui se sont produits sur les sites. Les attributs catégoriels des sites, tels que le type de carrefours, le type de route, ou le type de la route la plus importante d'une des approches du carrefour (tel que décrit dans la section 3.2.2), ont été transformés en

attributs numériques (binaires) pour être utilisés dans l'analyse. La deuxième application de la méthode bayésienne pour les sites à l'étude prend en considération les accidents avec des dommages corporels seulement (les accidents de type léger, grave et mortel). Cette deuxième application considérant les accidents corporels est mise en œuvre pour s'assurer d'également identifier des attributs causant des accidents avec des dommages corporels seulement (Miranda-Moreno et al., 2009) (voir section 2.3.4).

Pour la méthode bayésienne, l'identification des sites problématiques se fera avec la méthode de la « probabilité postérieure d'excès » où les sites avec une probabilité postérieure plus grande qu'une valeur, t , généralement fixée à 0,95, soit $p(\theta_i \geq c | y_i) > t$, sont choisis comme sites problématiques. La valeur, c , désigne alors une limite supérieure du nombre « acceptable » d'accidents selon la juridiction. La façon de sélectionner la limite supérieure du nombre acceptable d'accidents, c , est une question importante qui a été abordée dans la littérature mais qui est hors de la portée du présent projet et qui reste externe à ce travail. Ainsi, la valeur, c , pour les carrefours considérant tous les accidents a été choisie comme la moyenne du nombre d'accidents attendus se produisant dans les carrefours. La valeur, c , pour les carrefours considérant les accidents corporels seulement, les tronçons considérant tous les accidents et les tronçons considérant les accidents corporels seulement est d'une valeur arbitraire de 2 comme montrée dans le Tableau 3-14. Cette valeur arbitraire de deux a été choisie en regardant le nombre d'accidents attendus produits par la méthode EB. C'est-à-dire que les résultats ont permis de choisir un seuil raisonnable de coupure, car les moyennes du nombre d'accidents attendus pendant la période d'analyse (5 ans) dans ces trois ensembles sont de 0,40, 0,06 et 0,43 pour les tronçons considérant tous les accidents, les tronçons considérant les accidents corporels seulement et les carrefours considérant les accidents corporels, respectivement.

Tableau 3-14: Limite supérieure du nombre acceptable d'accident, c , pour l'identification des sites problématiques

Sites	Limite supérieure c
Carrefours – tous les accidents	2,48
Carrefours – accidents corporels seulement	2,00
Tronçons – tous les accidents	2,00
Tronçons – accidents corporels seulement	2,00

Les sites considérés problématiques par la probabilité postérieure considérant tous les accidents et les accidents corporels seulement diffèrent pour plusieurs sites. Par exemple, un carrefour peut être considéré problématique par une seule probabilité postérieure : il dépasse la probabilité postérieure de la limite supérieure acceptable considérant tous les accidents, mais il ne dépasse pas la limite supérieure acceptable considérant les accidents corporels seulement. Ainsi, si le site a une probabilité postérieure de 95 % ou plus de dépasser la limite supérieure considérant tous les accidents, il est considéré comme « site problématique à fréquence élevée ». Si le site a une probabilité postérieure de 95 % ou plus de dépasser la limite supérieure considérant les accidents corporels seulement, il est considéré comme « site problématique à gravité élevée ». Si les deux probabilités postérieures du site dépassent les deux limites supérieures acceptables, il est considéré comme « site problématique à fréquence et à gravité élevées »

CHAPITRE 4 RÉSULTATS

Ce chapitre présente les résultats de chaque méthode d'analyse des données selon les hypothèses formulées. En premier lieu, l'exploration de données effectuée sur la totalité des accidents du réseau municipal est présentée par une analyse descriptive pour chaque attribut des accidents considérés. Cette analyse descriptive repose sur le nombre total d'accidents et la proportion du nombre d'accidents mortels et graves (MG) parmi le nombre d'accidents avec blessures (c'est-à-dire mortels, ou avec blessures graves ou légères (MGL)), et la proportion du nombre d'accidents avec blessures (MGL) parmi tous les accidents. Ensuite, une des classifications produites par l'algorithme des k-moyennes est présentée. En second lieu, les résultats de la méthode simple de sécurité routière sont montrés. Les résultats de la méthode bayésienne ainsi que l'identification des sites problématiques basés sur la probabilité postérieure d'excès sont ensuite présentés. Finalement, une discussion et une comparaison entre la méthode simple de sécurité routière et la méthode bayésienne sont présentées.

4.1 Exploration de données et regroupement des accidents

La Figure 4-1 présente la localisation de tous les accidents se produisant dans la région à l'étude. La plupart des accidents se produisent dans un carrefour municipal, mais leurs proportions MGL et MG sont moins élevées. La proportion MGL des carrefours MTQ/municipal est la plus élevée des trois ensembles, suivie par celle des routes municipales.

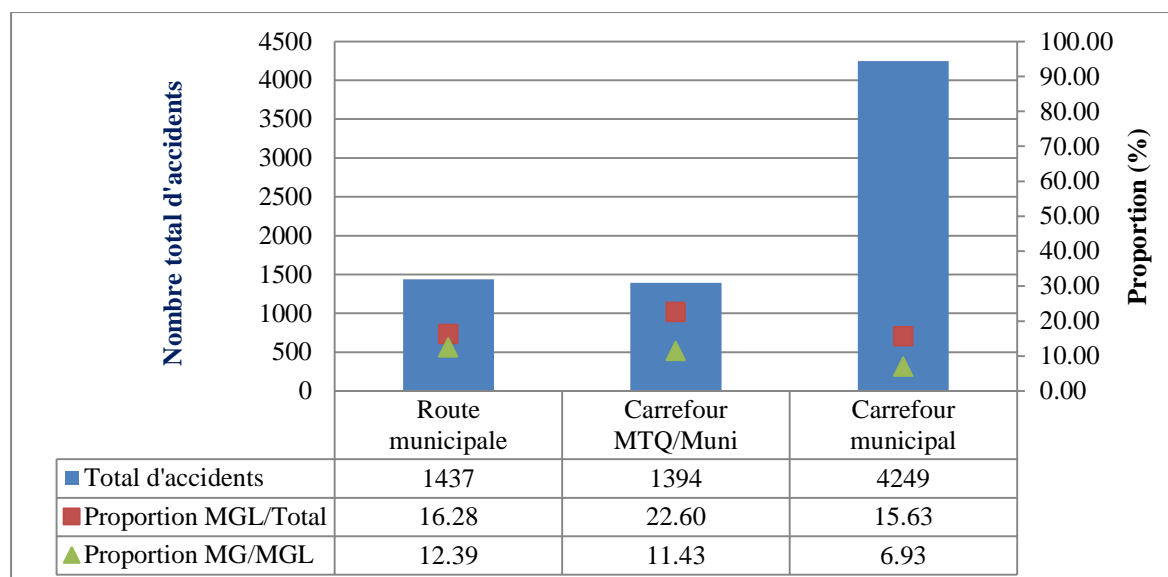


Figure 4-1: Localisation des accidents dans la région d'étude selon l'autorité responsable

Par la suite, les accidents de ces trois ensemble de sites sont considérés séparément étant données leurs caractéristiques différentes.

La Figure 4-2 présente le type d'accident (tel que montré dans le Tableau 3-9) pour les trois types de sites. Le nombre total d'accidents impliquant un piéton ou un cycliste est faible, mais leurs proportions MGL sont les plus élevées pour les trois types de sites. La proportion MG pour le type d'accident impliquant un cycliste ou un piéton est la plus élevée pour les carrefours MTQ/municipal, mais elle est plus élevée pour les accidents impliquant un animal ou un objet fixe pour les carrefours municipaux. La proportion MG est la plus élevée lorsqu'un piéton est impliqué pour les routes municipales. Une proportion relativement élevée des accidents MGL dans la catégorie « véhicule routier » pour les carrefours MTQ/municipale est à noter.

La Figure 4-3 présente le type d'impact pour les trois types de sites. Le type d'impact de catégorie « latéral » est le plus élevé en nombre total d'accidents pour les carrefours, suivi par la catégorie « autres, un seul véhicule » pour les carrefours MTQ/municipal et Autres, deux véhicules pour les carrefours municipaux. La catégorie « autres, deux véhicules » est la plus élevée en nombre total d'accidents pour les routes municipales suivie par la catégorie « autres, un seul véhicule ». Les types d'impact les plus sévères selon au moins une des proportions des accidents (soit la proportion MGL ou MG) sont de catégories « frontal » et « virages » pour les carrefours MTQ/municipal, de catégories « véhicule seul » et « gauche opposant » pour les

carrefours municipaux, et de catégories « frontal » et « véhicule seul » pour les routes municipales.

La Figure 4-4 présente les facteurs d'accidents pour les trois types de site. Le facteur « comportement » est le plus cité, suivi par le facteur « manœuvre/conduite illégale » pour les trois types de sites. Les facteurs d'accidents « vitesse » et « facultés affaiblies » ont les proportions MGL et MG les plus élevées pour les routes municipales, tandis que pour les carrefours la proportion MGL est la plus élevée pour le facteur « manœuvres/conduites illégales », suivi par les « facultés affaiblies » et la « vitesse ». La proportion MG du facteur « facultés affaiblies » (22,58 %) est deux fois plus grande que celle du deuxième facteur plus élevée, « comportement » (11,76 %), pour les carrefours MTQ/municipal. La proportion MG pour les carrefours municipaux est la plus élevée pour les facteurs « facultés affaiblies » et « infrastructure ».

La Figure 4-5 montre que la plupart des accidents ont lieu en zone urbaine, là où la densité de population et la circulation sont les plus importantes, puis en zone agricole pour les trois types de sites. Néanmoins, les proportions d'accidents MGL et MG sont plus élevées dans les territoires agricoles, industriels et des îlots déstructurés pour les trois types de site.

La Figure 4-6 montre que les accidents impliquant deux véhicules sont les plus nombreux, suivi par les accidents impliquant un seul véhicule pour les trois types de sites. Les proportions MGL sont les plus élevées pour les accidents impliquant trois véhicules ou plus pour les carrefours, et les accidents impliquant un seul véhicule pour les routes municipales. Les proportions MG sont les plus élevées pour les accidents impliquant trois véhicules ou plus pour les carrefours MTQ/municipal et routes municipales, et pour les accidents impliquant un seul véhicule pour les carrefours municipaux.

La Figure 4-7 montre que la majorité des accidents dans les carrefours municipaux et routes municipales se produisent dans des zones ayant une limite de vitesse de 50 km/h. Les accidents dans les carrefours MTQ/municipal se produisent dans des zones ayant une limite de vitesse de 80 km/h et plus, ce qui n'est pas surprenant car la limite de vitesse du réseau supérieur est rarement de 50 km/h. De plus, la proportion MG est toujours la plus élevée pour les vitesses de 60 à 70 km/h pour les trois types de sites. La proportion MGL est aussi la plus élevée pour les vitesses de 60 à 70 km/h pour les carrefour municipaux et routes municipales.

La Figure 4-8 ne montre pas le type de véhicule « véhicules routier » car c'est la catégorie la plus nombreuse et les rapports de police ne font pas de distinction entre un véhicule routier et un camion léger. Hormis les accidents impliquant seulement des véhicules routiers, les camions sont la catégorie de véhicule la plus impliquée dans les accidents, suivis par les motos, pour les trois types de sites. Les accidents impliquant une moto ne sont pas les plus nombreux, mais leurs niveaux de gravité sont relativement les plus élevés, suivis par ceux des accidents impliquant des bicyclettes pour les trois types de sites.

Le Tableau 4-1 montre que les accidents sont en moyenne plus nombreux durant la semaine (journées ouvrables : lundi à vendredi) sauf pour les accidents graves et mortels pour les routes municipales. Les proportions MGL et MG sont plus élevées pendant la fin de semaine pour les trois types de sites. La Figure 4-9 montre la redistribution des accidents durant la semaine avec plus de détails. Les accidents sont plus nombreux le jeudi et le vendredi, et les proportions MGL et MG sont les plus élevées le samedi pour les trois types de sites.

Le Tableau 4-2 montre que l'hiver, la saison la plus longue, a le nombre d'accidents le plus élevé. Néanmoins, le nombre moyen d'accidents par mois durant l'hiver est plus élevé pour les carrefours municipaux et les routes municipales seulement. Le nombre moyen d'accidents par mois le plus élevé pour les carrefours MTQ/municipal est durant l'été. La Figure 4-10 montre plus en détail la distribution des accidents durant les mois de l'année. Le nombre d'accidents est le plus élevé pour les mois de novembre, décembre et janvier. Toutefois, la proportion MGL est élevée pour tous les mois sauf les mois d'hiver pour les carrefours. La proportion MGL pour les routes municipales est la plus élevée durant les mois de juillet, août et septembre. La proportion MG est maximale pour des mois différents selon le type de site dans lequel est situé l'accident.

Le Tableau 4-3 montre les heures de la journée regroupées en catégories plus homogènes en termes de débits typiques de circulation. Les périodes de l'après-midi et du début de soirée sont les périodes ayant un nombre d'accidents le plus élevé pour les trois types de sites. Les proportions MG et MGL sont les plus élevées durant la nuit et en soirée pour les carrefours municipaux et routes municipales. Pour les carrefours MTQ/municipal, les proportions MGL sont élevées le matin et l'après-midi et les proportions MG sont élevées en soirée et durant la nuit.

La Figure 4-11 montre la répartition des accidents en fonction de l'origine géographique des conducteurs impliqués, sous-divisée en trois groupes : tous les conducteurs provenaient de la

MRC, au moins un des conducteurs provenait de la MRC et aucun conducteur ne provenait de la MRC. Les proportions sont les plus élevées pour la catégorie « hors-MRC » pour les trois types de sites.

Finalement, le Tableau 4-4 montre la répartition des accidents selon le groupe d'âges des conducteurs. Les accidents impliquant un conducteur de 24 ans et moins ont la proportion MGL la plus élevée pour les trois types de sites. La proportion des accidents MG est la plus élevée pour les conducteurs âgés dans les carrefours MTQ/municipal, et la deuxième et troisième plus élevée dans les carrefours municipaux, et les routes municipales, respectivement.

Ces figures et tableaux ont permis de constater plusieurs relations entre le niveau de gravité et les attributs des accidents. Premièrement, les accidents impliquant les usagers vulnérables (piétons, cyclistes et motocyclistes) sont en proportion les plus graves comme montré dans la Figure 4-2, et la Figure 4-8. Deuxièmement, les accidents impliquant des animaux n'ont pas en général une proportion d'accidents graves élevée par rapport aux autres types d'accidents comme montré dans la Figure 4-3. Les accidents ayant un type d'impact « frontal » sont les plus graves en proportion MG, ce qui est normalement dû au fait que l'énergie dissipée par des véhicules se déplaçant en ligne droite est plus élevée que celle d'un véhicule stationné, d'un véhicule seul, et un impact de type « arrière ». Troisièmement, une relation entre la limite de vitesse comme facteur d'accident et le niveau de gravité est aussi constatée dans la Figure 4-4. Les accidents ayant la vitesse comme facteur d'accident sont parmi les plus graves en proportion MG. Cette relation entre la limite de vitesse élevée et le niveau de gravité est également constatée dans la Figure 4-5 où l'affectation du sol agricole est normalement la moins dense parmi les autres affectations, et donc les conducteurs conduisent plus rapidement; et dans la Figure 4-7 où les sites ayant des limites de vitesses de plus de 60 km/h sont les plus graves en proportion. Cependant, même si la vitesse est un facteur contribuant aux proportions élevées des niveaux de gravité, les facultés affaiblies est le facteur le plus liés aux accidents graves : ses proportions MG sont environ deux fois plus importantes que celle du deuxième facteur le plus grave pour les carrefours MTQ/municipal et les routes municipales. De plus, une relation entre le niveau de gravité et la période de l'année, de la semaine et de la journée est constatée. L'été, la fin de semaine et le début de soirée sont les périodes dont la proportion des accidents graves est la plus élevée, comme montré dans la Figure 4-9, la Figure 4-10 et le Tableau 4-3. Finalement, les accidents impliquant un usager venant de l'extérieur de la MRC qui ne connaît pas bien le réseau

routier sont les plus dangereux en proportion, ainsi que ceux impliquant des conducteurs ayant moins de 24 ans comme montré dans le Tableau 4-4.

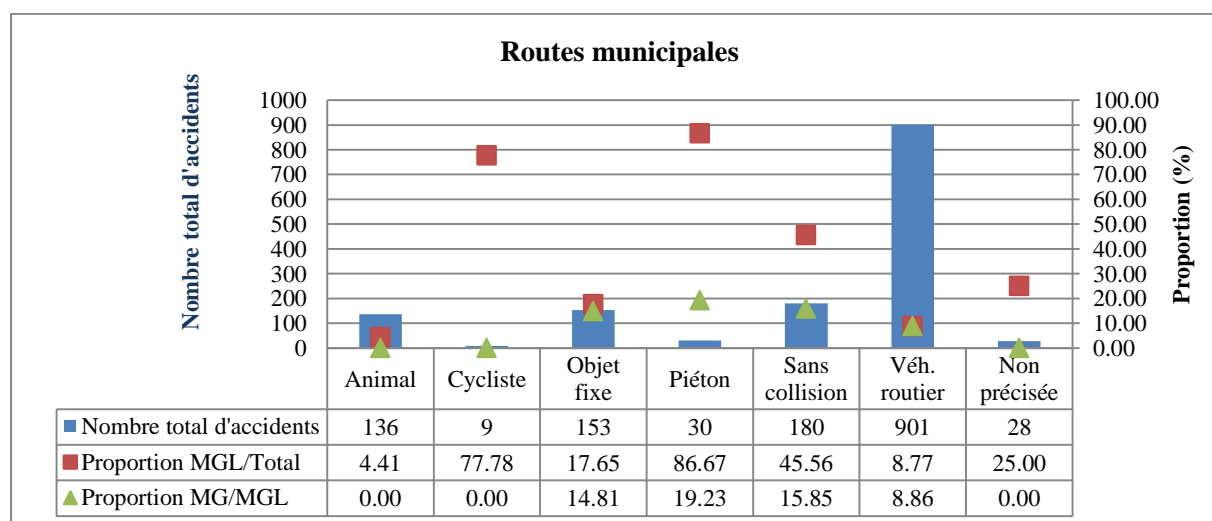
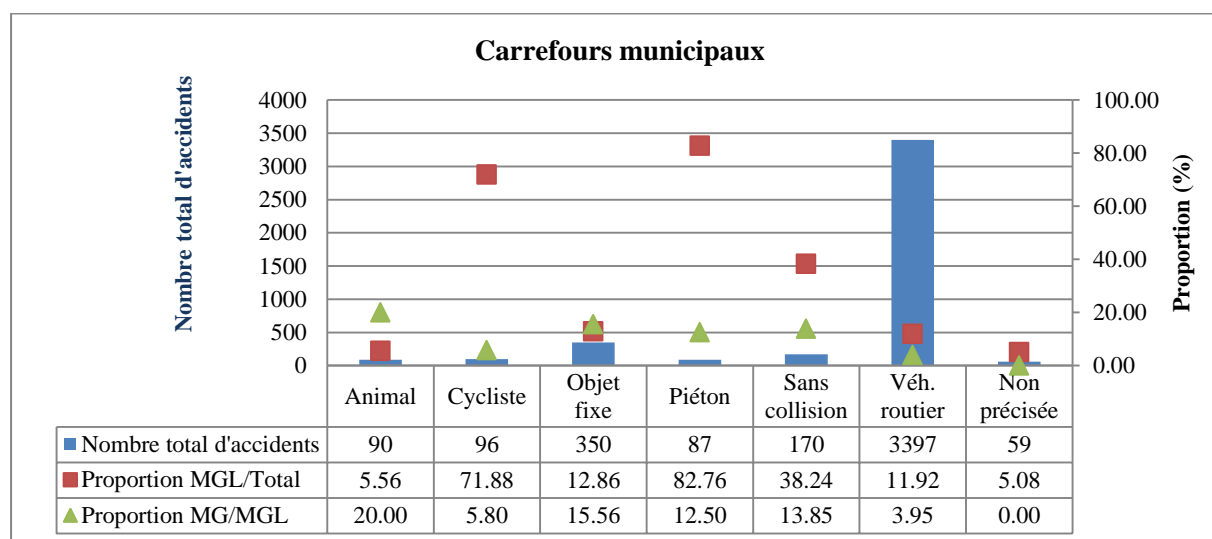
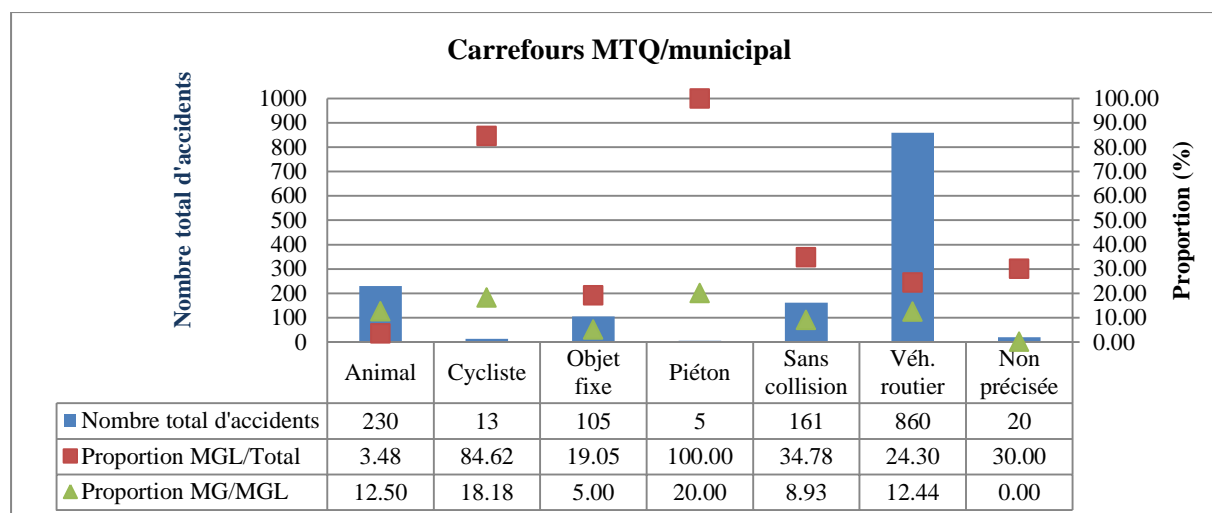


Figure 4-2: Type d'accident selon la localisation de l'accident

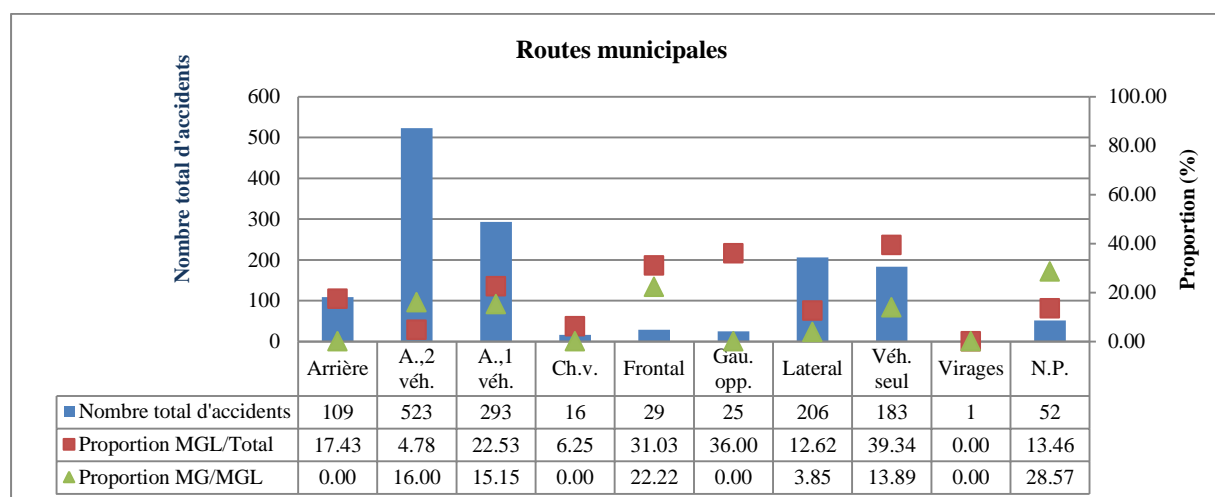
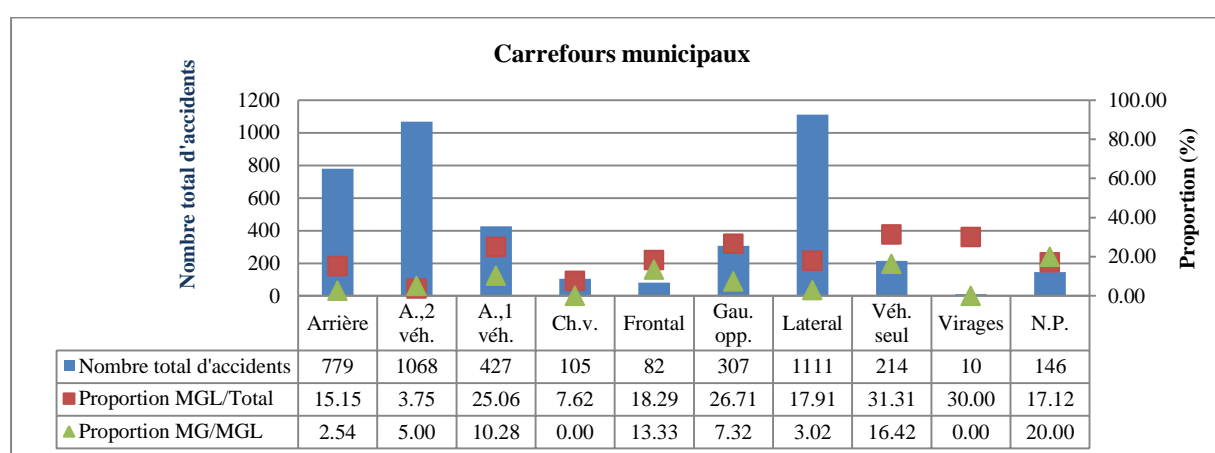
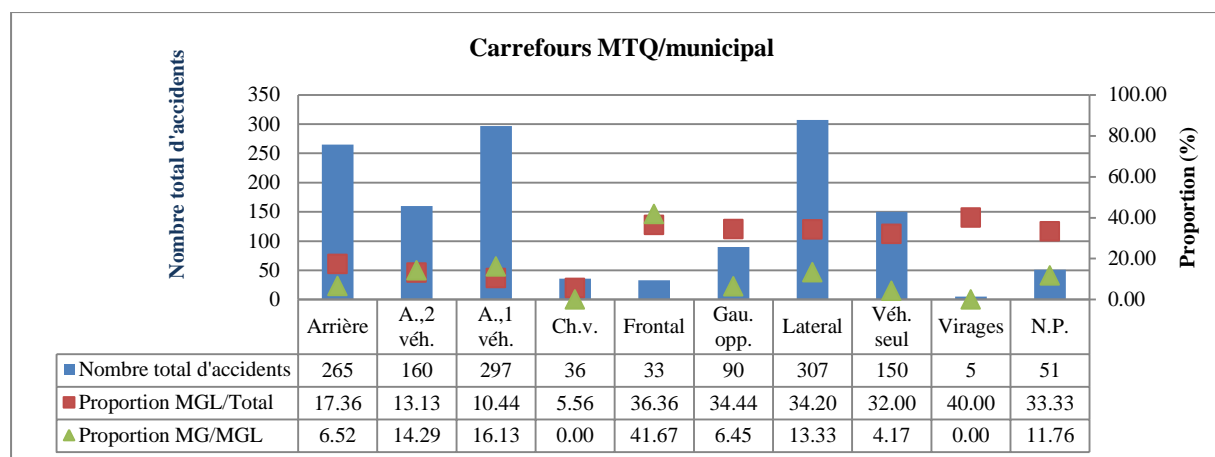


Figure 4-3: Répartition des accidents selon le type d'impact (A., 2 véh.=Autres, deux véhicules, A.,1 véh.=Autres, un seul véhicule, Ch.v.=Changement de voie, Gau. opp.=Gauche opposant, Véh. Seul=véhicule seul, et N.P.=Non précisée)

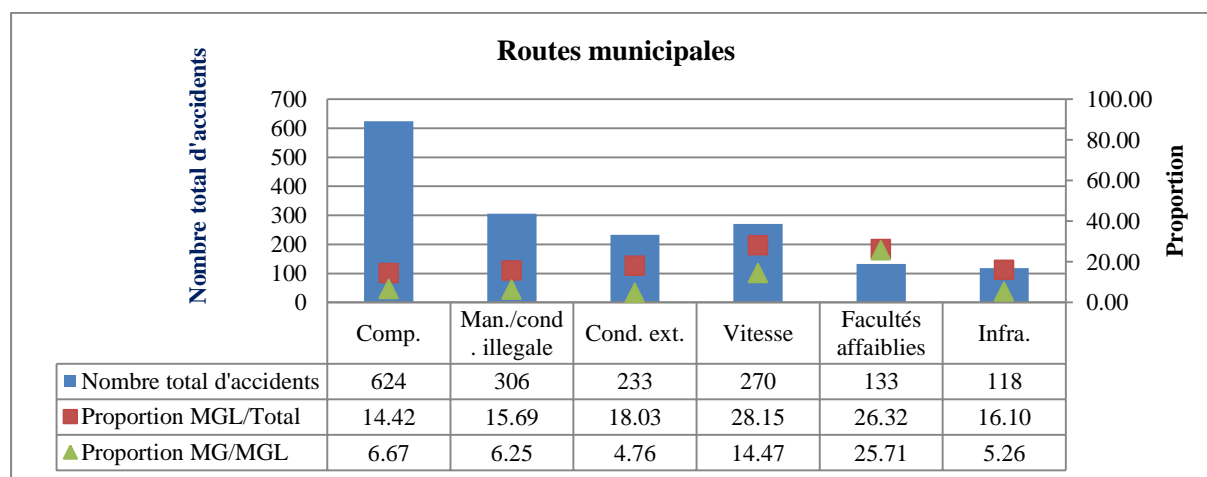
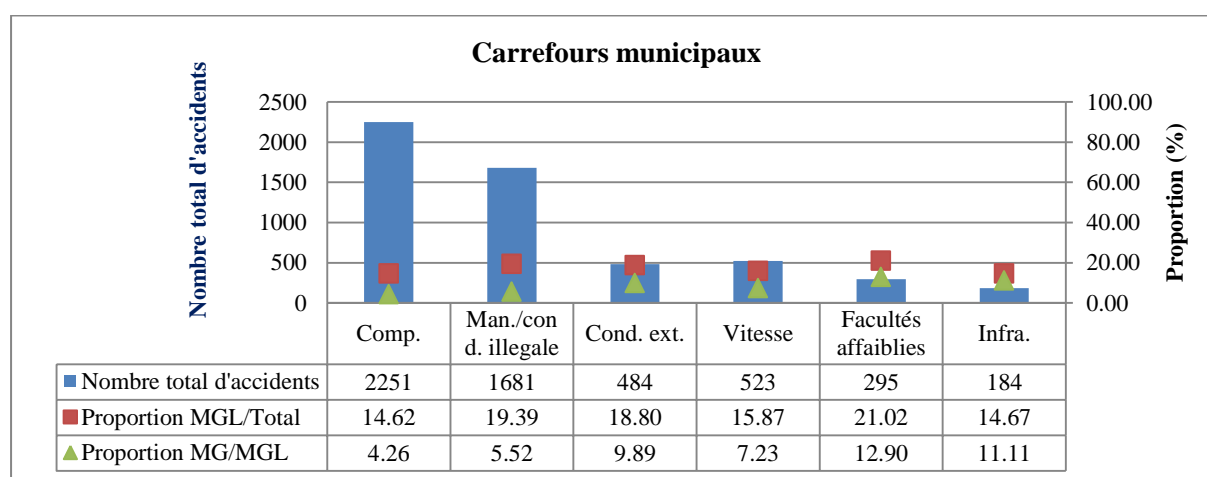
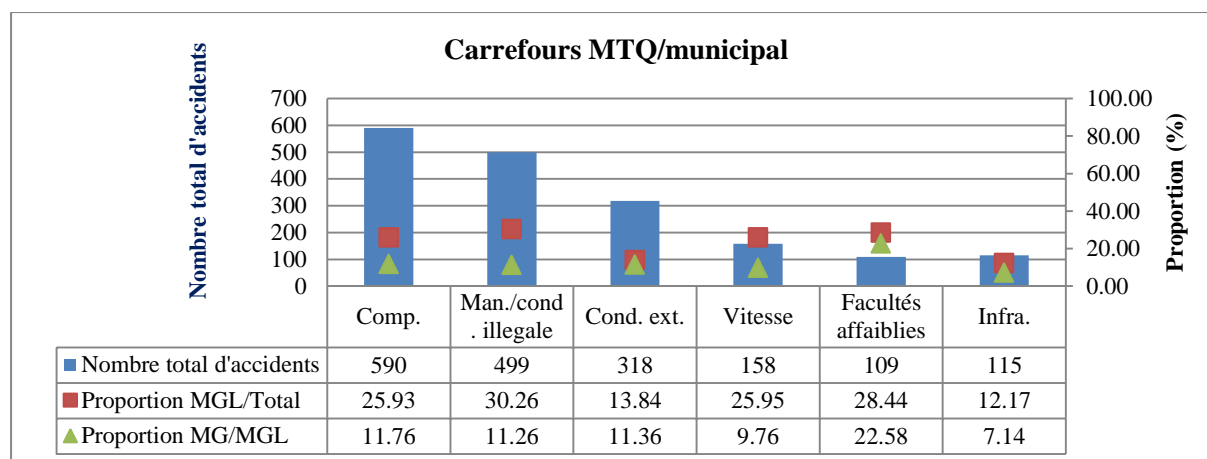


Figure 4-4: Répartition des accidents selon le facteur d'accident (Comp.=Comportement, Man./con. Illégale=Manœuvre/conduite illégale, Cond. Ext.= Conditions extérieures et Infra.=Infrastructure)

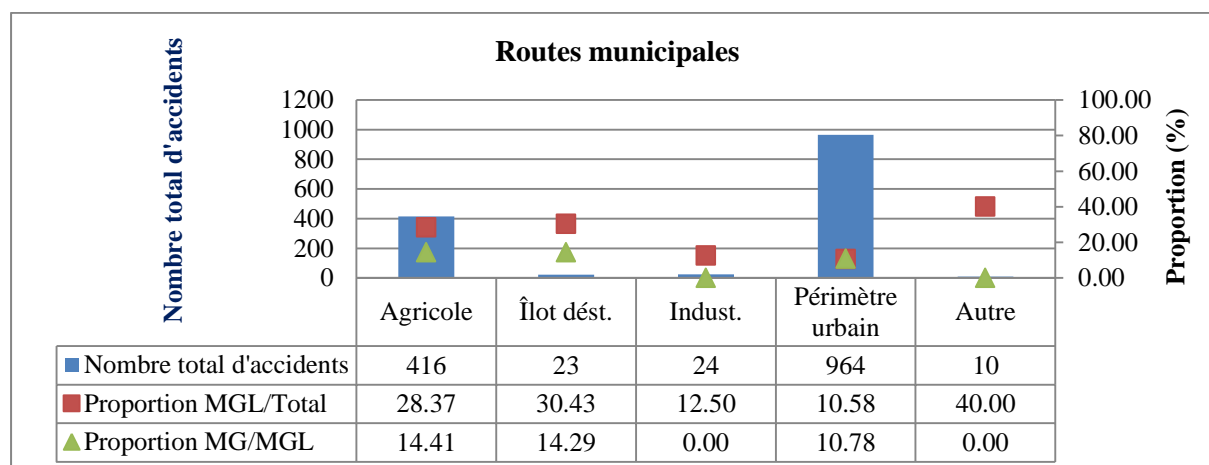
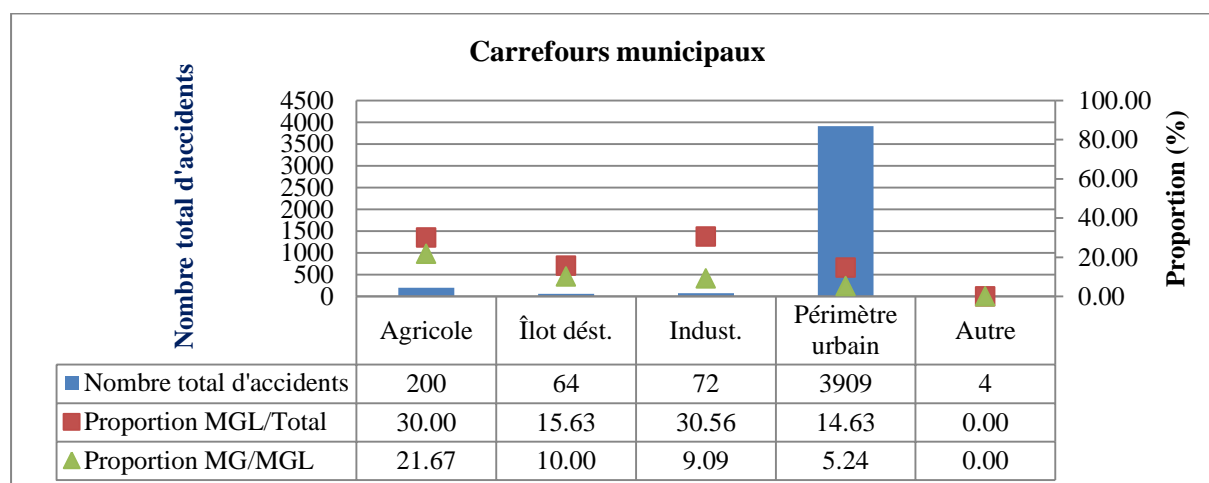
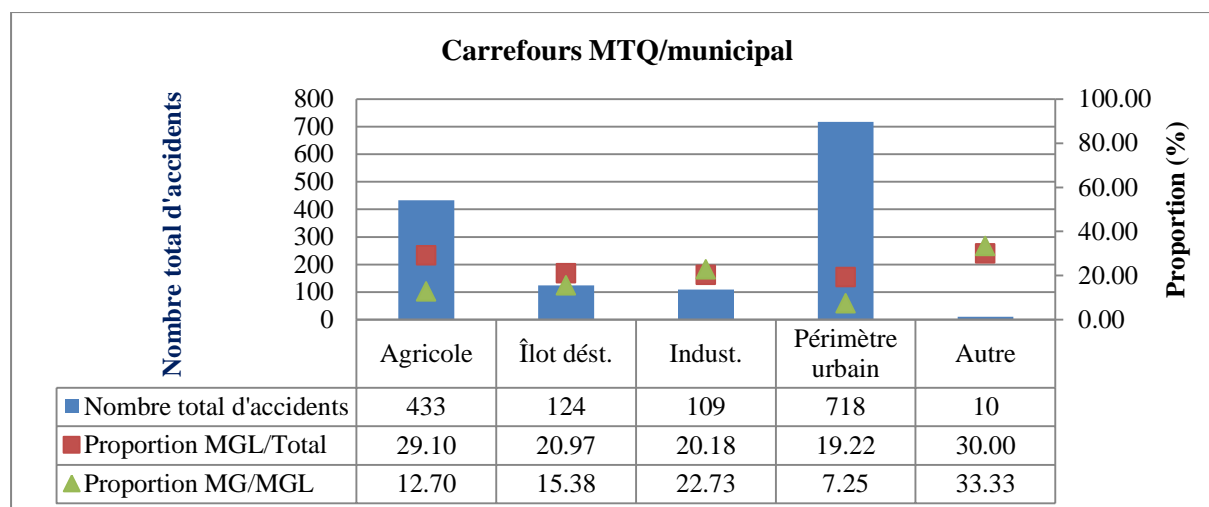


Figure 4-5: Répartition des accidents selon l'affectation du sol

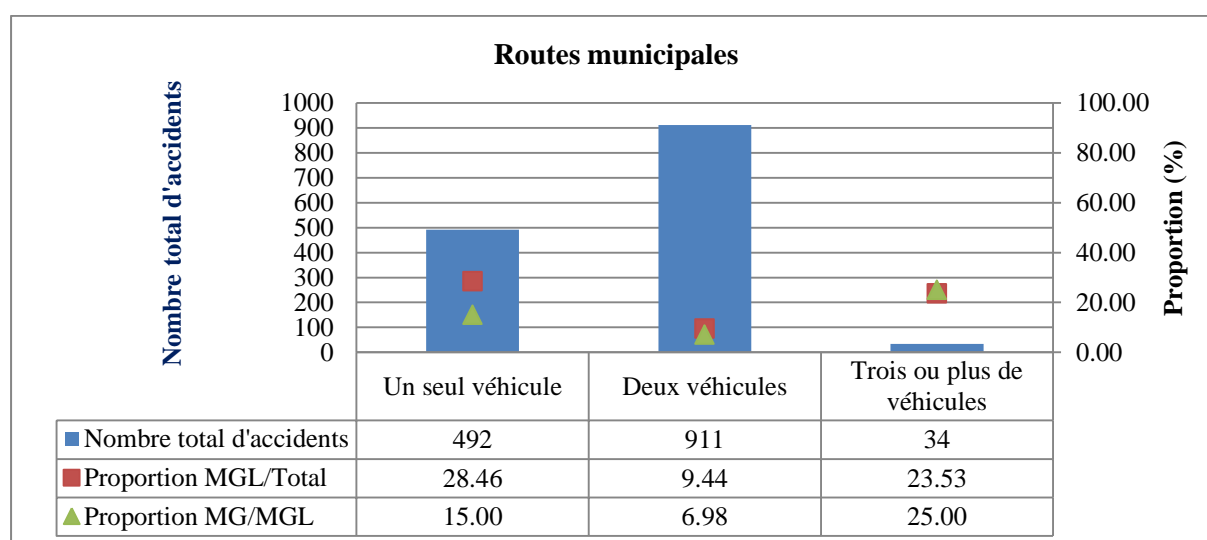
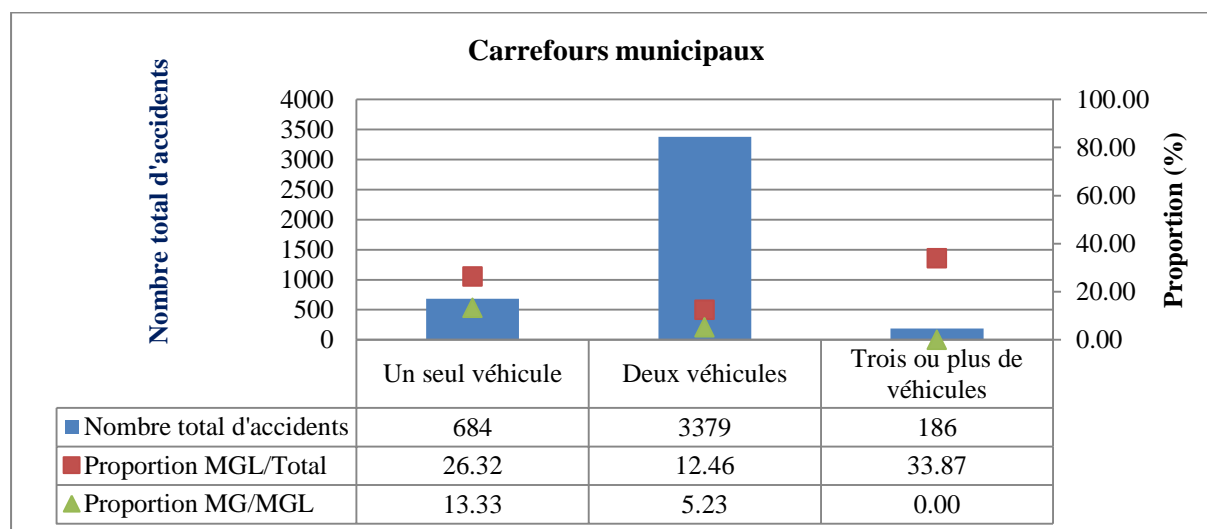
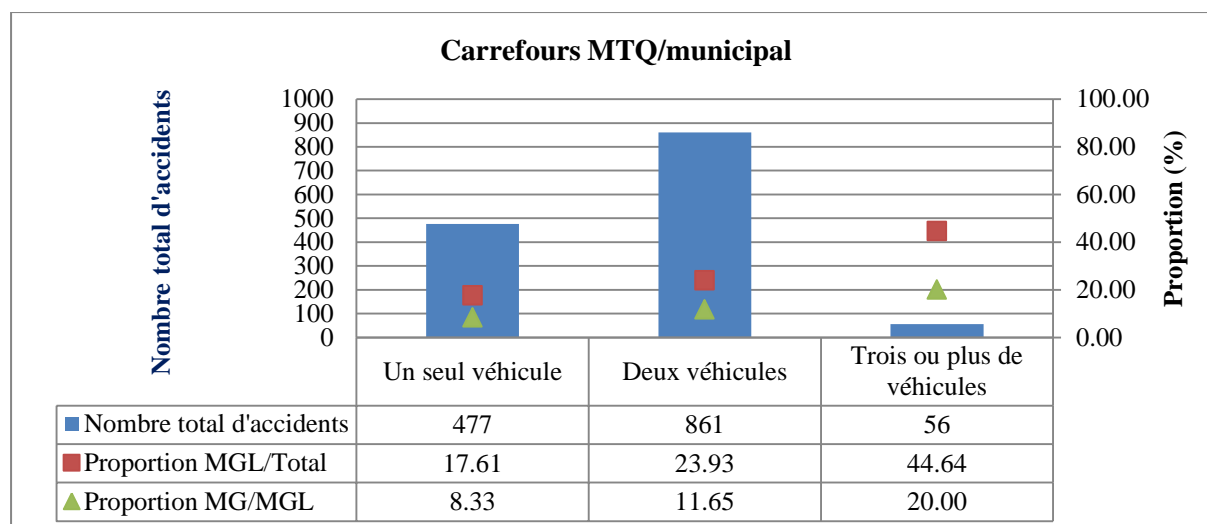


Figure 4-6: Répartition des accidents selon le nombre de véhicules impliqués

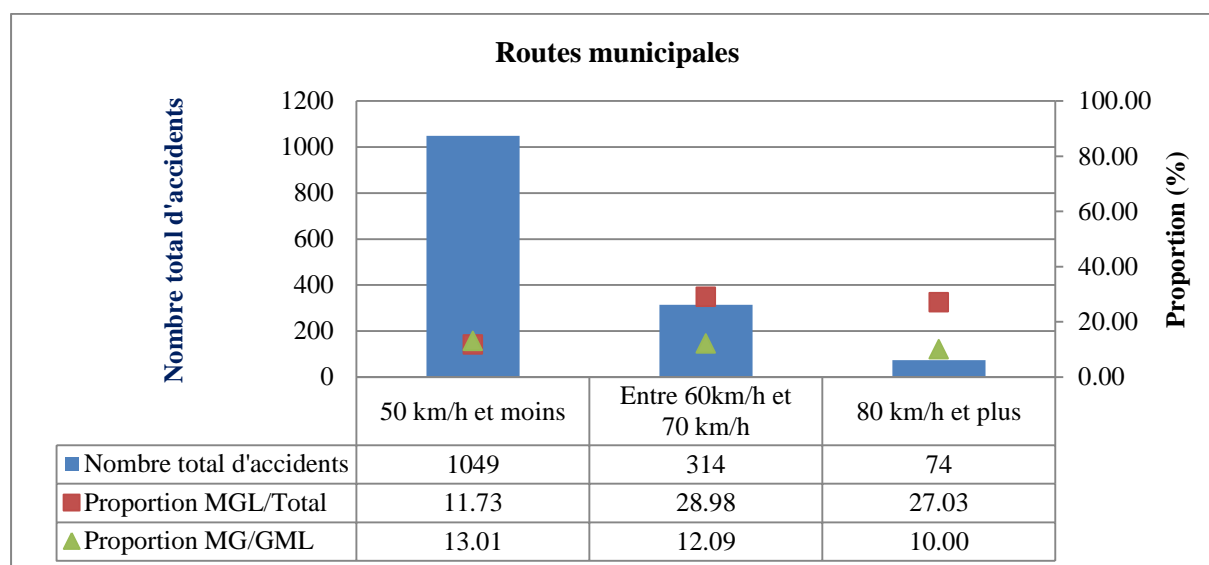
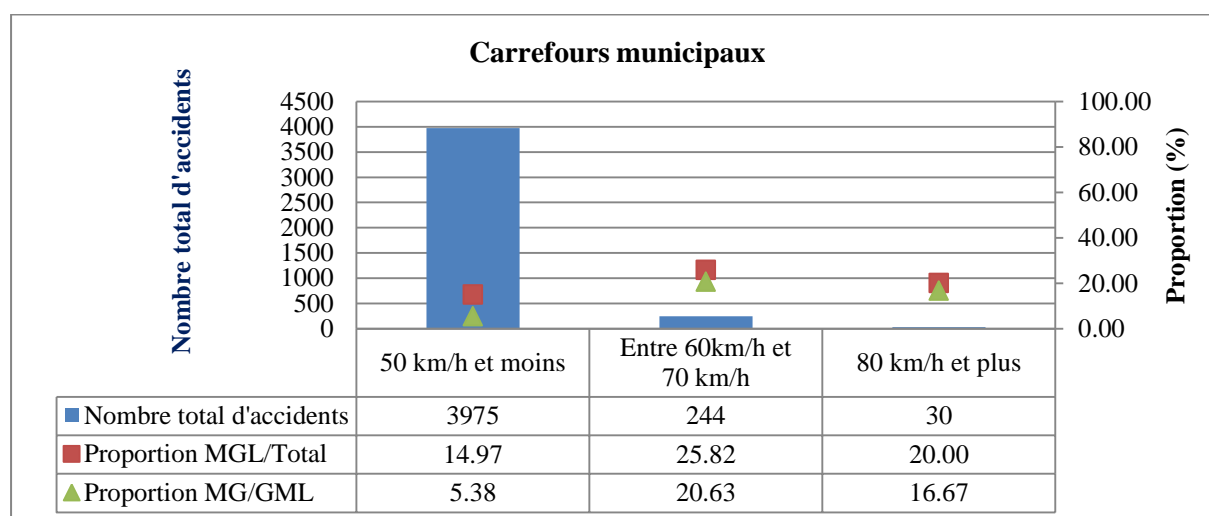
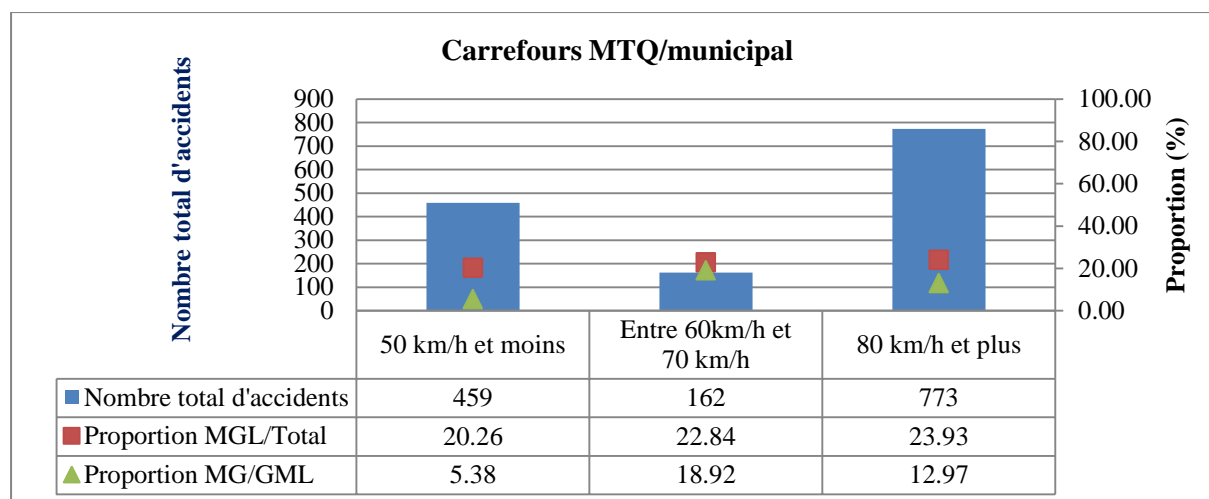


Figure 4-7: Répartition des accidents selon la vitesse affichée

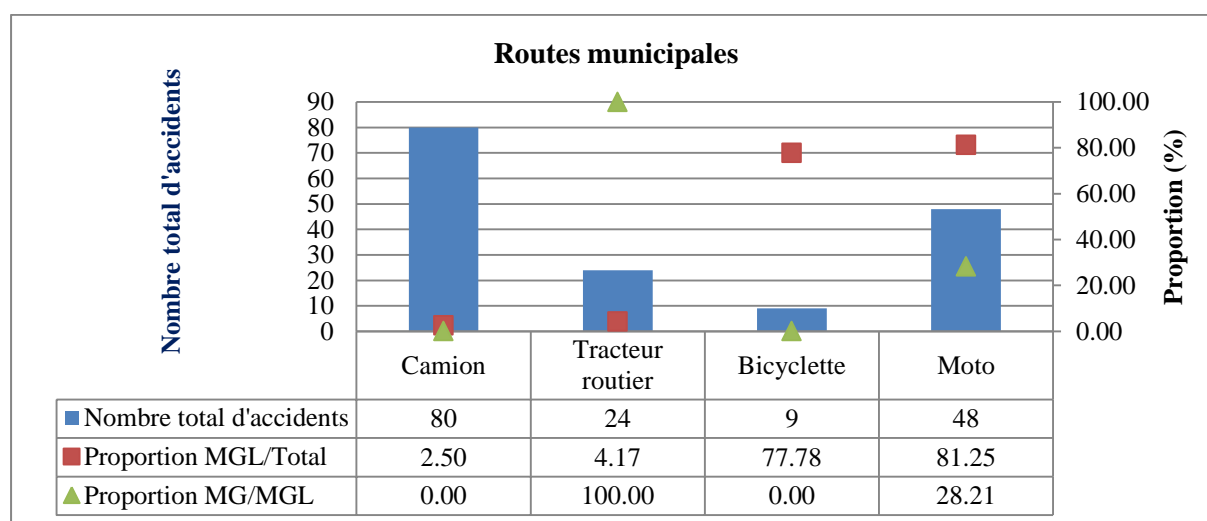
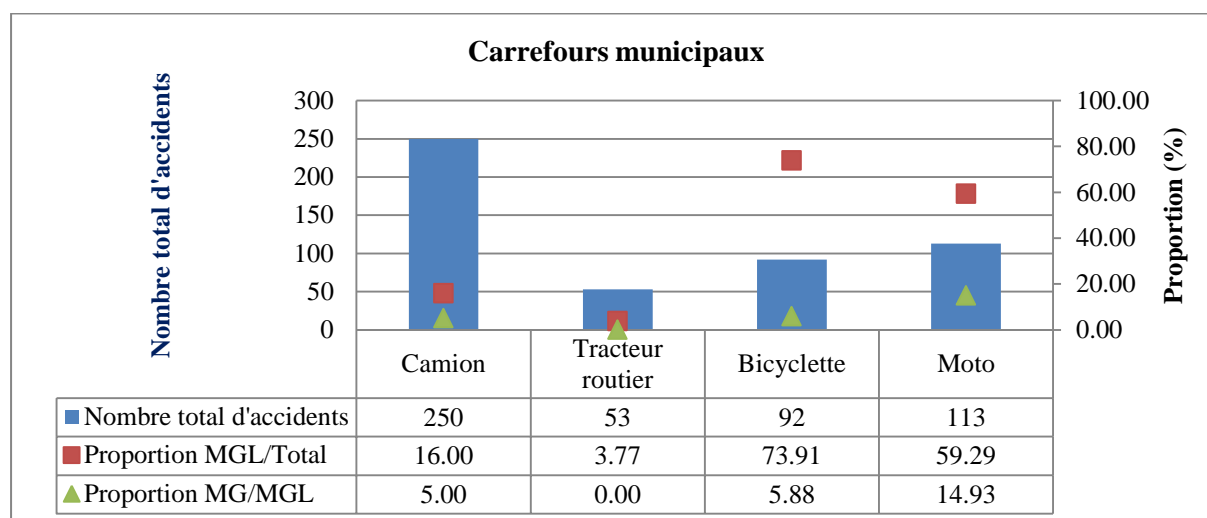
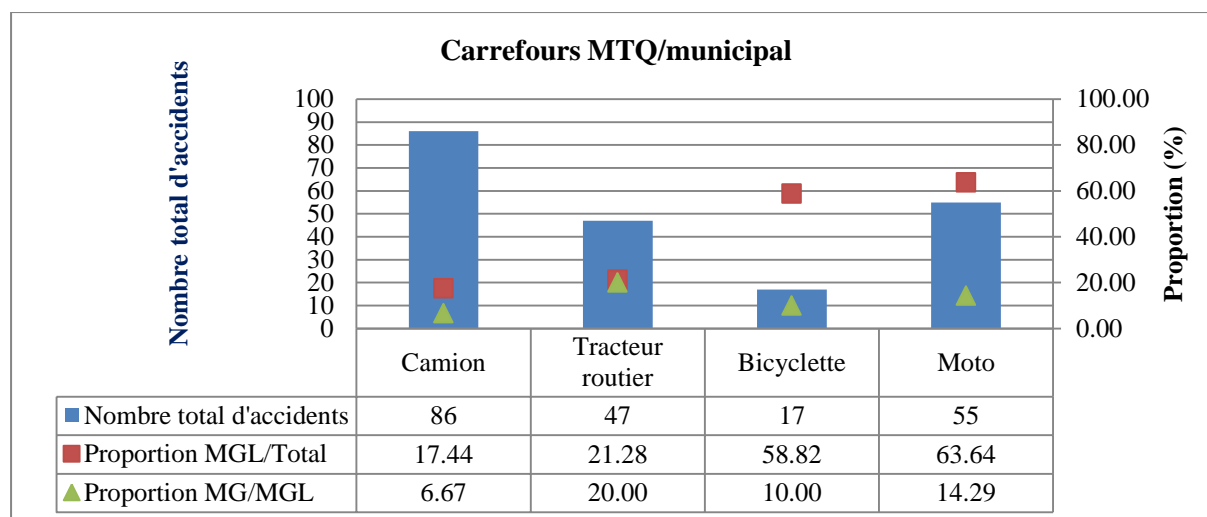


Figure 4-8: Répartition des accidents selon le type de véhicule

Tableau 4-1: Moyenne par jour sur 5 ans du nombre total d'accidents et du nombre d'accidents mortel et grave (MG) selon le type de jour de semaine

Période de la semaine	NOMBRE moyen D'ACCIDENTS	NOMBRE moyen D'ACCIDENTS MG	Proportion MGL/total	Proportion MG/MGL
Carrefour MTQ/municipal				
Journées ouvrables	209	5,2	21,80	11,40
Fin de semaine	174	2,0	25,00	11,49
Carrefour municipal				
Journées ouvrables	685	6,6	15,67	6,15
Fin de semaine	412	2,6	15,43	10,24
Route municipale				
Journées ouvrables	214	3,6	15,07	11,18
Fin de semaine	185	5,5	19,78	15,07

Tableau 4-2: Nombre d'accidents par saison

Saison	Carrefour MTQ/municipal		Carrefour municipal		Route municipale	
	Nombre d'accidents	NOMBRE moyen D'ACCIDENTS par MOIS	Nombre d'accidents	NOMBRE moyen D'ACCIDENTS par MOIS	Nombre d'accidents	NOMBRE moyen D'ACCIDENTS par MOIS
Automne	216	108	676	338	245	123
Été	286	143	649	325	234	117
Hiver	681	136	2014	403	649	130
Printemps	211	70	910	303	309	103

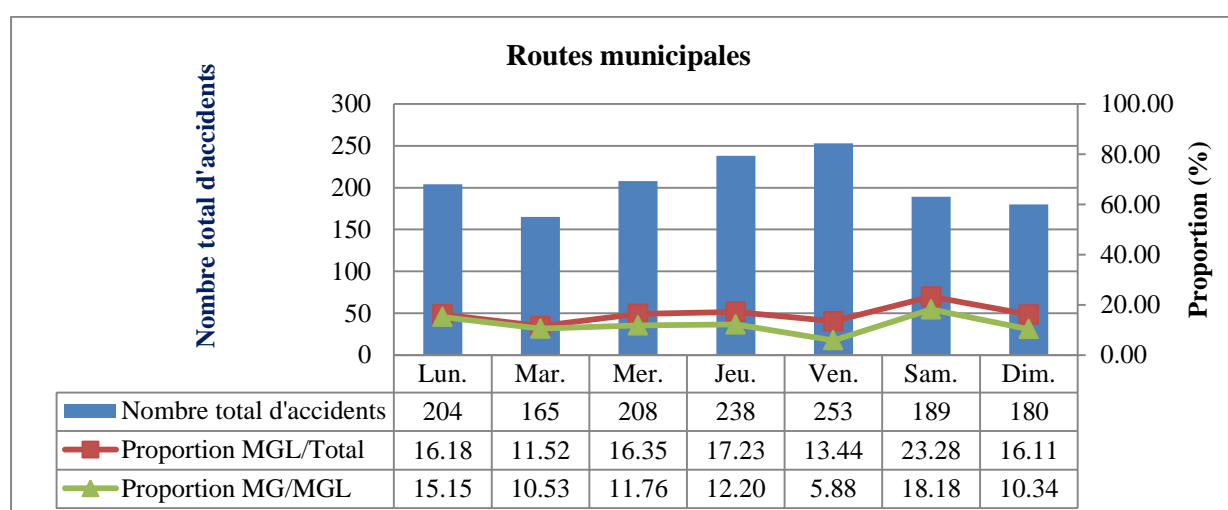
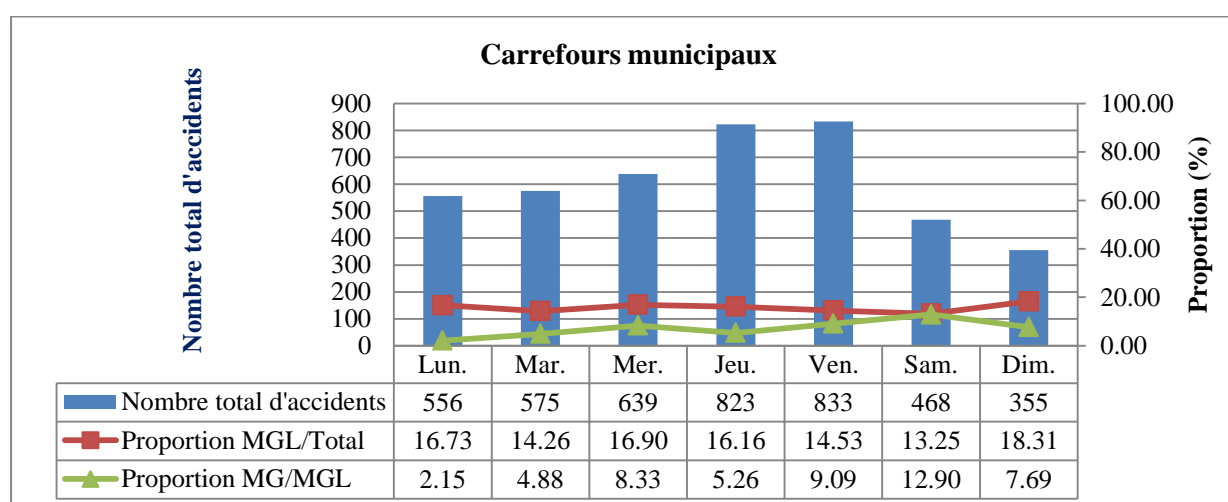
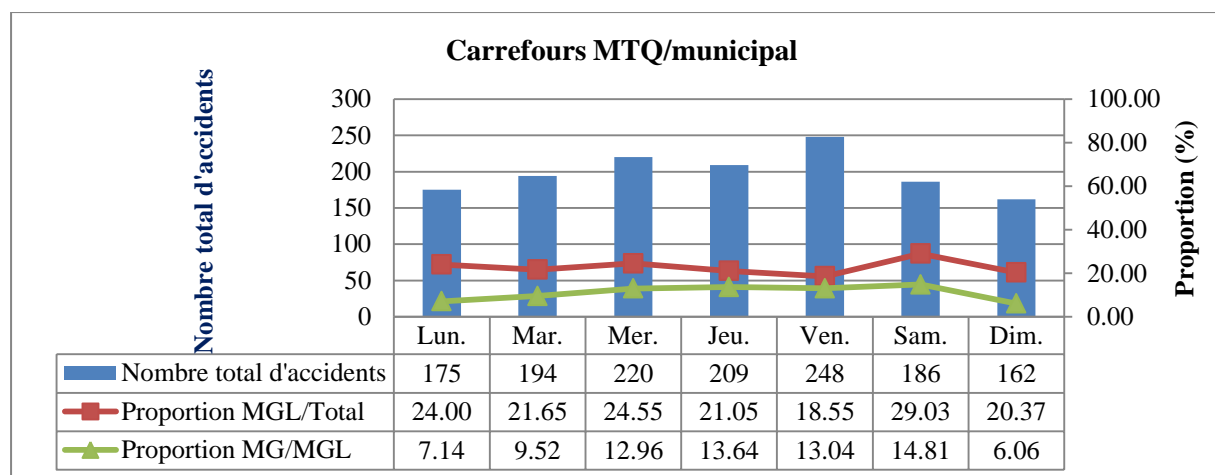


Figure 4-9: Répartition des accidents selon le jour de semaine (Lun.=Lundi, Mar.=Mardi, Mer.=Mercredi, Jeu.=Jeudi, Ven.=Vendredi, Sam.=Samedi et Dim.=Dimanche)

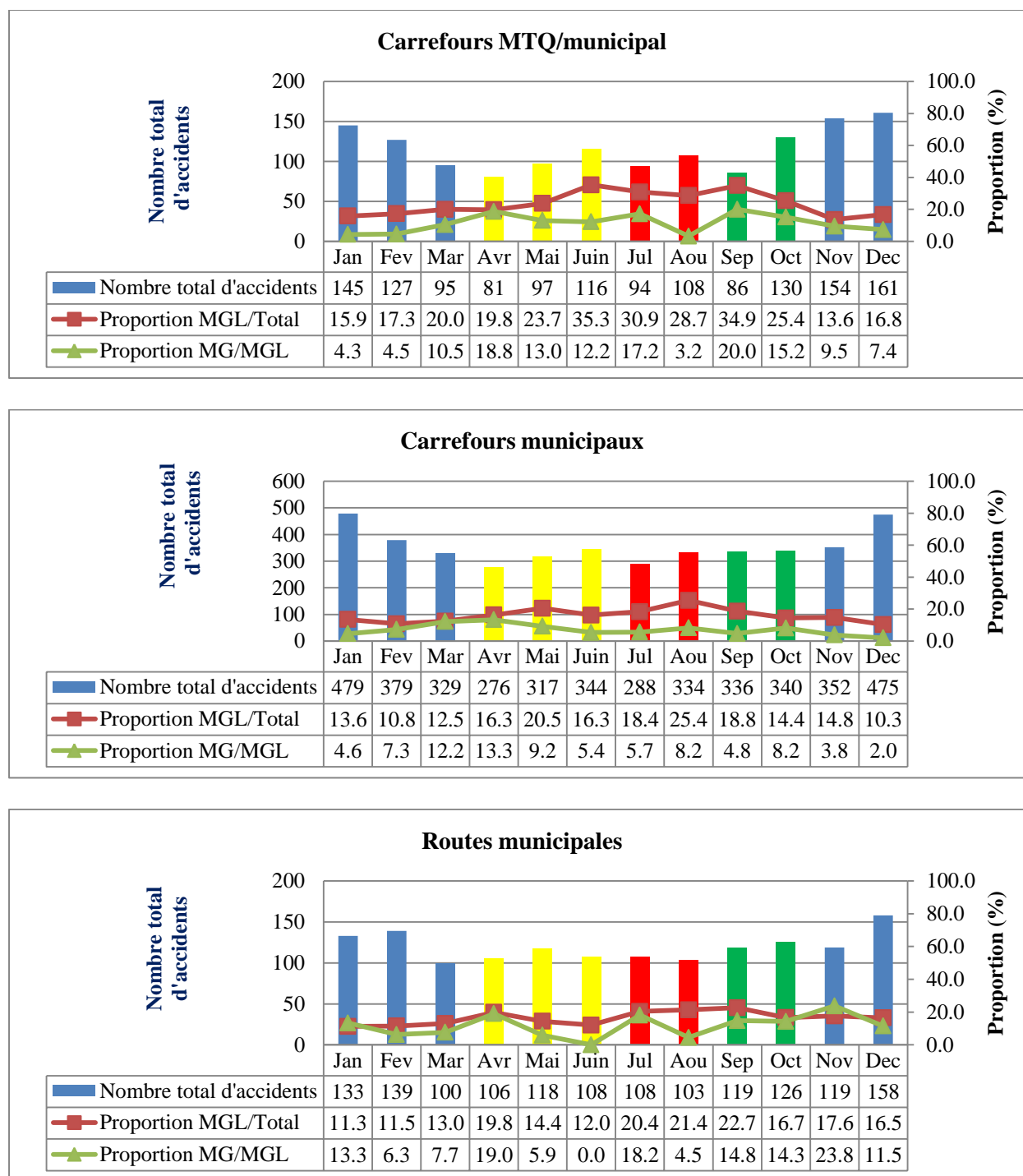


Figure 4-10: Répartition des accidents selon le mois de l'année (Bleu : Hiver, Jaune : Printemps, Rouge : Été, Vert : Automne)

Tableau 4-3: Répartition des accidents selon la période de la journée

PÉRIODE DE LA JOURNÉE	NOMBRE TOTAL D'ACCIDENTS	NOMBRE D'ACCIDENTS PAR HEURE	Proportion MGL/total	Proportion MG/MGL
Carrefour MTQ/municipal				
Nuit (24 h – 5 h 59)	85	14	17,65	13,33
Matin (6 h – 11 h 59)	358	60	25,70	8,70
Après-midi (12 h – 15 h 59)	343	86	24,20	13,25
Début de soirée (16 h – 19 h 59)	392	98	22,70	7,87
Soirée (20 h – 23 h 59)	201	50	16,42	18,18
Non précisée	15	3	20,00	66,67
Carrefours municipaux				
Nuit (24 h – 5 h 59)	211	35	18,48	12,82
Matin (6 h – 11 h 59)	140	23	13,04	2,14
Après-midi (12 h – 15 h 59)	1303	326	15,04	7,14
Début de soirée (16 h – 19 h 59)	1137	284	15,74	7,26
Soirée (20 h – 23 h 59)	450	113	22,89	8,74
Non précisée	74	15	9,46	28,57
Routes municipales				
Nuit (24 h – 5 h 59)	110	18	23,64	15,38
Matin (6 h – 11 h 59)	382	64	12,83	4,08
Après-midi (12 h – 15 h 59)	366	92	14,48	11,32
Début de soirée (16 h – 19 h 59)	354	89	18,93	11,94
Soirée (20 h – 23 h 59)	182	46	20,88	21,05
Non précisée	43	9	2,33	100,00

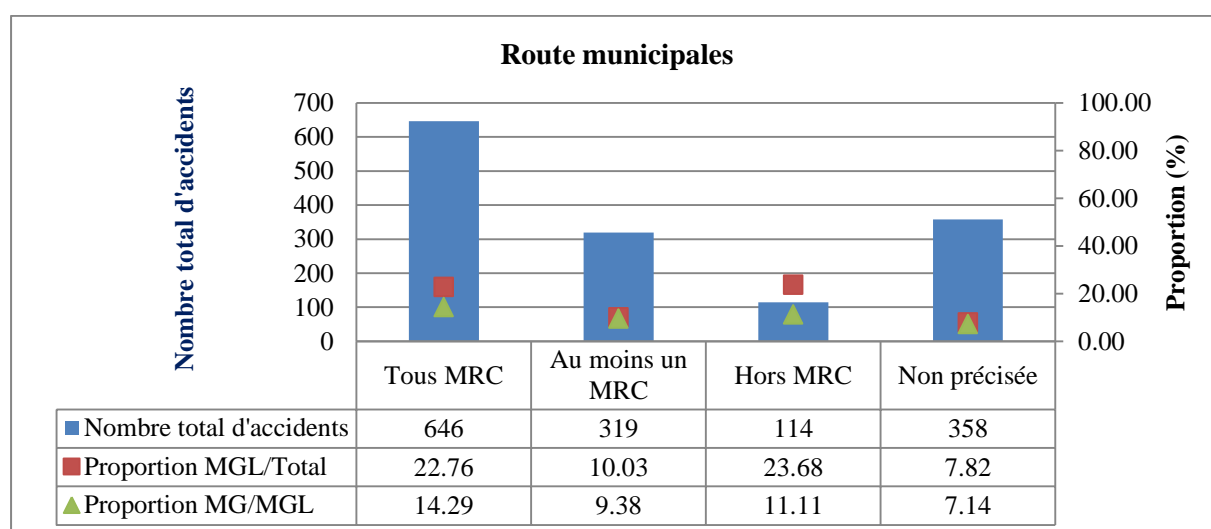
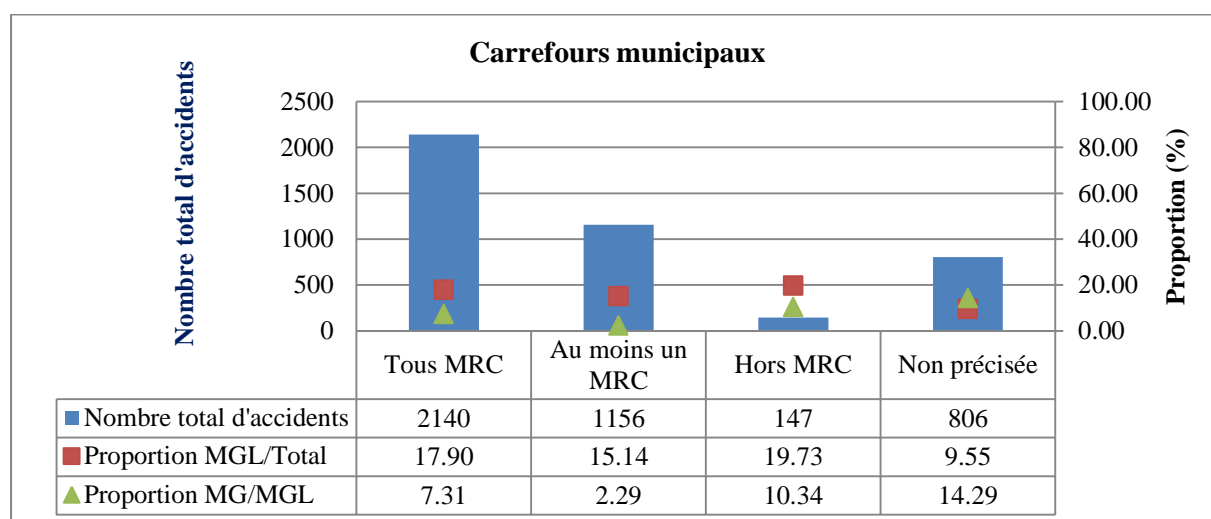
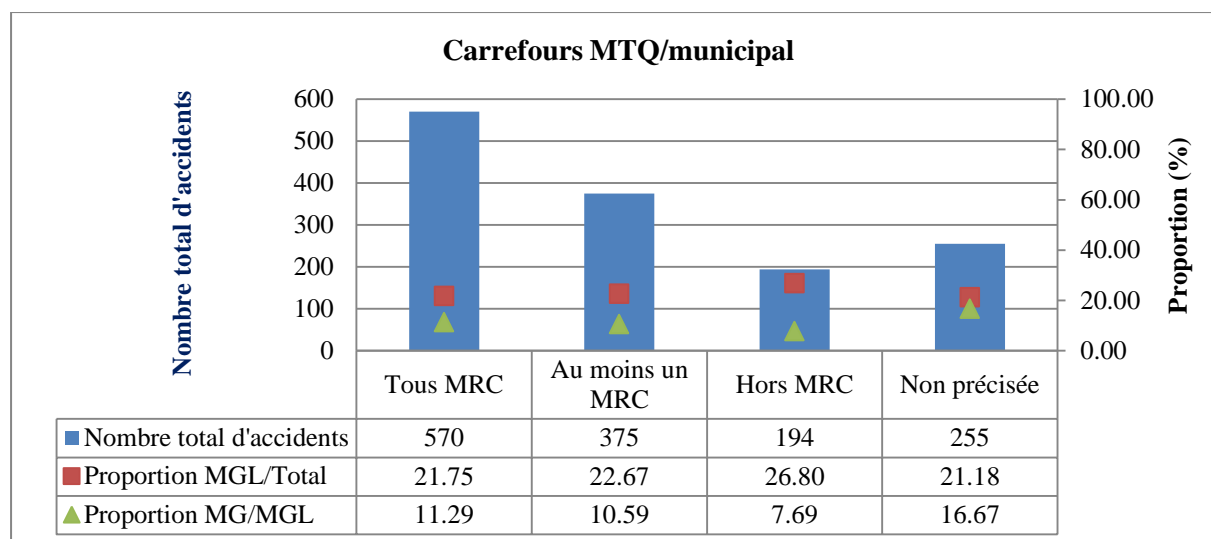


Figure 4-11: Répartition des accidents selon l'origine des conducteurs

Tableau 4-4: Répartition du nombre d'accidents selon l'âge des conducteurs

Groupe d'âge	Nombre total d'accidents	Proportion MGL/total	Proportion MG/MGL
Carrefours MTQ/municipal			
24 et moins	418	27,03	10,62
25-29	230	26,08	6,66
30-64	1110	24,95	13,71
65-74	129	21,70	7,14
75 et plus	76	23,68	16,67
Carrefour municipaux			
24 et moins	1477	20,58	4,28
25-29	535	17,57	7,44
30-64	3354	16,10	5,74
65-74	493	16,43	3,70
75 et plus	403	14,64	6,78
Routes municipales			
24 et moins	414	24,15	14,00
25-29	160	15,62	12,00
30-64	885	16,3	8,27
65-74	127	14,9	15,78
75 et plus	76	10,53	12,50

4.2 Typologie des accidents : regroupement de l'algorithme des k-moyennes

L'application de la méthode des k-moyennes vise à obtenir une typologie des 7 080 accidents de la région d'étude basée sur les variables disponibles. Le nombre de groupes a été choisi de façon itérative en cherchant une bonne distinction entre les groupes, et en cherchant un compromis entre un nombre trop petit ou trop grand de groupes d'accidents. Les quatre groupes gardés sont les suivants : Groupe 1 : accidents impliquant majoritairement deux véhicules en zone urbaine, Groupe 2 : accidents impliquant majoritairement un seul véhicule, Groupe 3 : accidents

impliquant majoritairement des cyclistes et le Groupe 4 : accidents ayant majoritairement des valeurs manquantes dans leurs rapports de police. Comme l'indique le Tableau 4-6, le groupe 1 regroupe 49 %, le groupe 2 regroupe 19 %, le groupe 3 environ 2 % et le dernier groupe regroupe 30 % de tous les accidents, respectivement. Le Tableau 4-5 explique comment lire le Tableau 4-6.

Tableau 4-5: Explication de lecture du Tableau 4-6

Nom de colonne	Description
Attribut	La variable est la description d'une caractérisation spécifique de l'accident
Catégorie	La catégorie est une des valeurs possibles pour une variable nominale/catégorielle (e.g., mortel, grave, légère, matériel majeur et matériel mineur pour la variable de gravité)
Proportion de tous les accidents avec la catégorie dans le groupe	Pourcentage de tous les accidents ayant la catégorie spécifiée qui sont dans le groupe. (e.g., le Groupe 1 contient 56,3 % de tous les accidents ayant une gravité de type « matériel majeur »)
Proportion des accidents du groupe avec la catégorie	Pourcentage des accidents dans le groupe ayant la catégorie spécifiée. (e.g., 66,1% de tous les accidents dans le groupe 1 ont une gravité de type matériel majeur)
Proportion de tous les accidents avec la catégorie dans l'ensemble	Pourcentage de la catégorie dans l'ensemble de tous les accidents. (e.g., 57,8 % de tous les accident ont une gravité de type « matériel majeur », 25,0 % de tous les accident ont une gravité de type « matériel mineur », 15,6 % de tous les accidents ont une gravité de type « légère », 1,3 % de tous les accidents ont une gravité de type grave , et 0,3 % de tous les accident ont une gravité de type « mortel »)

Tableau 4-6: Description détaillée des groupes d'accidents (en pourcentages)

Attribut	Catégorie	Proportion de tous les accidents avec la catégorie dans le groupe	Proportion des accidents du groupe avec la catégorie	Proportion de tous les accidents avec la catégorie dans l'ensemble
GROUPE 1 : DEUX VÉHICULES -ZONE URBAINE – 3 491 ACCIDENTS (49,3 % DE L'ENSEMBLE) :				
Nombre de véhicules impliqués	Deux véhicules	61,9	91,4	72,8
Nombre de véhicules impliqués	Trois véhicules ou plus	77,9	6,2	3,9
Affectation du territoire	Périmètre urbain	56,3	90,2	79,0
Classe de la route	Artère urbaine	64,3	54,3	41,6
Gravité	Matériel majeur	56,3	66,1	57,8
Proximité à un carrefour	Dans un carrefour	61,7	73,1	58,4
Journée ouvrable	Oui	51,9	82,3	78,2
Période de la journée	Après-midi	64,4	33,1	28,4
Période de la journée	Début de soirée	56,3	30,4	26,6
Saison	Hiver	53,9	51,6	47,2
Type d'accident	Véhicule routier	65,4	96,6	72,9
Facteur de l'accident	Manœuvre/conduite illégale	83,8	59,7	35,1
Facteur de l'accident	Comportement	59,0	58,5	48,9
Code d'impact	Latéral	89,4	41,6	22,9
Code d'impact	Arrière	91,8	30,3	16,3
Code d'impact	Gauche opposant	95,0	11,5	6,0
Origine des conducteurs	Tous de la MRC	62,4	60,0	47,4
GROUPE 2 : UN SEUL VÉHICULE – 1 350 ACCIDENTS (19,1 % DE L'ENSEMBLE)				
Nombre de véhicules impliqués	Un seul véhicule	70,4	86,2	23,3
Affectation du territoire	Agricole	87,2	67,8	14,8
Classe de la route	Local rurale	96,4	33,7	6,7
Classe de la route	Collectrice municipale	55,2	7,9	2,7
Code d'impact	Véhicule seul	76,6	31,0	7,7
Code d'impact	Autres. véhicule seul	65,2	49,1	14,4
Moto impliquée	Oui	42,1	6,7	3,1
Type d'accident	Animal	98,7	33,3	6,4
Type d'accident	Sans collision	91,4	34,6	7,2
Gravité	Mortel	47,4	0,7	0,3
Gravité	Grave	52,2	3,6	1,3
Facteur de l'accident	Infrastructure	62,4	19,3	5,9

Tableau 4-6: Description détaillée des groupes d'accidents (en pourcentages) (suite)

Attribut	Catégorie	Proportion de tous les accidents avec la catégorie dans le groupe	Proportion des accidents du groupe avec la catégorie	Proportion de tous les accidents avec la catégorie dans l'ensemble
Période de la journée	Nuit	52,5	15,8	5,7
Origine des conducteurs	Hors MRC	61,5	20,7	6,4
GROUPE 3 : LES CYCLISTES – 122 ACCIDENTS (1,7 % DE L'ENSEMBLE)				
Type d'accident	Cycliste	97,5	94,3	1,7
Bicyclette impliquée	Oui	89,3	86,9	1,7
Affectation du territoire	Périmètre urbain	2,0	90,2	79,0
Proximité à un carrefour	Dans un carrefour	2,1	72,1	58,4
Gravité	Légère	7,6	68,9	15,6
Gravité	Mortel	15,8	2,5	0,3
État de la chaussée	Sèche	2,7	92,6	58,1
Conditions météorologiques	Clair	2,7	84,4	54,6
Conducteur jeune	Oui	2,7	50,8	32,6
GROUPE 4 : VALEURS MANQUANTES- 2117 ACCIDENTS (29,9 % DE L'ENSEMBLE)				
Conducteur âgé	Non précisée	76,5	55,0	21,5
Conducteur jeune	Non précisée	78,8	51,1	19,4
Origine des conducteurs	Non précisée	59,8	40,1	20,0
Nombre de véhicules impliqués	Deux véhicules	32,3	78,6	72,8
Code d'impact	Autres. deux véhicules	83,7	69,2	24,7
Gravité	Matériel mineur	56,8	47,6	25,0
Affectation du territoire	Périmètre urbain	36,7	97,0	79,0
Proximité à un carrefour	Près d'un carrefour	49,2	35,1	21,3
Classe de la route	Locale urbaine	48,9	51,9	31,8
Période de la journée	Non précisée	68,9	4,3	1,9

Ainsi, le groupe 1 contenant environ 49 % de tous les accidents est composé de la majorité des accidents impliquant deux véhicules (61,9 % de l'ensemble des accidents avec deux véhicules), ou trois véhicules ou plus (77,9 % de l'ensemble des accidents avec trois véhicules ou plus). Ce groupe contient également la plupart des accidents se produisant sur une artère urbaine (64,3 % de l'ensemble des accidents sur une artère urbaine), et dans une affectation de périmètre urbain (56,3 % de l'ensemble des accidents dans un périmètre urbain). Le genre d'accident le plus

courant du groupe se produit contre un véhicule routier : 65,4 % de tous les accidents contre un véhicule routier sont dans le groupe et 96,6 % des accidents du groupe sont du genre « véhicule routier ». De plus, la plupart des accidents du groupe se produisent pendant une journée ouvrable (82,3% des accidents du groupe) et sont à proximité d'un carrefour (73,1% des accidents du groupe). Finalement, la plupart des accidents ayant les codes d'impacts « latéral », « arrière » et « gauche opposant » de tous les accidents se trouvent dans ce groupe.

Le groupe 2 contient 19 % de tous les accidents. Ce groupe contient la plupart des accidents impliquant un seul véhicule (70,4 % de l'ensemble des accidents impliquant un seul véhicule), et se produisant sur une route de type « locale rurale » (96,4 % de l'ensemble des accidents sur une route locale rurale). Ce sont également la majorité des accidents impliquant un animal (98,7 % de l'ensemble des accidents impliquant un animal) ou de type « sans collision » (91,4 % de l'ensemble des accidents de type « sans collision ») qui se trouvent dans ce groupe. La majorité des accidents se produisant dans la nuit se trouve dans le groupe (52,5 % de l'ensemble des accidents se produisant la nuit). La plupart des accidents dans le groupe ont un code d'impact « autres, véhicule seul » (49,1 % des accidents du groupe) ou « véhicule seul » (31 % des accidents du groupe).

Le plus petit groupe est le groupe 3. Le groupe 3 contient 97,5% de tous les accidents impliquant un cycliste, et 94,3% des accidents dans le groupe impliquent un cycliste. 68,9% des accidents dans le groupe ont une gravité légère et se produisent dans une affectation de type « périmètre urbain » (90,2 % des accidents du groupe). L'état de la chaussée des accidents dans ce groupe est majoritairement « sèche » (92,6 % des accidents du groupe) avec des conditions météorologiques de type « clair » (84,4 % des accidents du groupe).

Finalement, le dernier groupe contient 29,9 % de tous les accidents et ce sont des accidents ayant des valeurs manquantes ou des valeurs qui n'ont pas été précisées. Ce sont également la plupart des accidents ayant une gravité de type matériel mineur (56,8 % de l'ensemble des accidents avec une gravité de matériel mineur) qui se trouvent dans ce groupe et pour lesquels le code d'impact est « autres, deux véhicules » (83,7 % de l'ensemble des accidents ayant un code d'impact « autres, deux véhicules »).

Cette typologie a permis de constater que la majorité des accidents impliquant deux véhicules dans une zone urbaine se produisent en début de soirée (16 h-19 h 59) et durant une journée

ouvrable. Ils se produisent normalement sur des routes achalandées (artères urbaines), et sont causés majoritairement par une manœuvre ou une conduite illégale, ou bien par le comportement des conducteurs. Les conducteurs sont peut-être plus susceptibles d'avoir un comportement plus agressif après leurs journées de travail et oublient qu'ils doivent partager la route avec plusieurs autres conducteurs. Cette typologie a aussi permis de constater que les accidents qui n'impliquent qu'un seul véhicule se produisent généralement la nuit et sur une rue locale rurale ou collectrice municipale. Ces accidents, dont un nombre important sont des accidents mortels, peuvent se produire en raison d'un excès de confiance de certains conducteurs vis-à-vis de leurs capacités de conduite. Cette confiance est alimentée par le bas débit véhiculaire et par la perception qu'il existe moins de contrôle de la vitesse par la police sur ces types de routes. De plus, ces accidents qui surviennent majoritairement dans une zone agricole impliquent des animaux, un composant qui peut souvent être oublié par les conducteurs qui ne sont pas de la région d'étude, tel que montré dans le groupe 2. Les accidents du groupe 3 sont aussi susceptibles d'avoir des dommages corporels, car les usagers vulnérables subissent des dommages corporels lorsqu'ils entrent en collision avec un véhicule routier. Ces accidents se produisent dans un périmètre urbain et dans un carrefour, des zones où le nombre potentiel de conflits peut augmenter à cause du nombre élevé de véhicules et des manœuvres potentielles. Finalement, cette typologie a permis de constater la problématique des accidents ayant une gravité de type « matériel mineur ». Les rapports de ces accidents ne sont pas toujours complétés comme les rapports décrivant un accident ayant des dommages corporels car le policier n'est pas dans l'obligation de remplir le rapport si l'accident est de type « matériel mineur » (ayant causé moins 2 000 \$ en dommages matériels) (SAAQ, 2014). Plus de précisions dans la saisie d'information pour ces accidents serait souhaitable afin de mieux cibler tous les accidents de la région et pas seulement ceux comportant des dommages corporels ou étant de type « matériel majeur ».

4.3 Validation des bases de données

La collecte de données sur le terrain a permis de valider les attributs assemblés par l'équipe INRS-Polytechnique, ainsi que les attributs collectés virtuellement à l'aide de Google Street View pour les carrefours. La plupart des attributs des carrefours sont en accord avec ceux collectés virtuellement à l'exception de la longueur de chaque approche et du marquage. La longueur des approches était mesurée à l'aide des outils et des images satellites de Google Earth.

Certaines de ces images satellites n'ont pas une résolution suffisante, ce qui a rendu la mesure imprécise. L'attribut « marquage » constaté durant la visite sur le terrain n'a pas concordé avec l'attribut « marquage » collecté virtuellement sur certains carrefours. À plusieurs carrefours, le marquage n'était plus visible sur certaines approches. Les photos prises par Google Earth datent de 2009, et la visite sur le terrain a eu lieu en 2013. La détérioration ou le rafraîchissement du marquage durant cette période sont des sources d'imprécision entre la collecte virtuelle et la collecte sur le terrain. La collecte de données sur le terrain a également permis de collecter des données qui ne sont pas accessibles virtuellement, telles que la longueur des accotements de chaque approche et si le phasage du feu de circulation permet un virage à gauche exclusif.

Les attributs des tronçons assemblés par l'équipe de l'INRS-Polytechnique ont aussi été validés et ils concordent avec ceux de l'ensemble de données des tronçons (section 3.2.3) à l'exception du revêtement de la route. La collecte de données a également permis de collecter des attributs additionnels, tels que la largeur des accotements et de la route, la présence d'entrées et de sorties le long du tronçon, et l'éclairage, qui pourront être utilisés dans des études futures.

Pour conclure, la collecte de données sur le terrain a permis de prouver que les attributs collectés virtuellement pour les carrefours et ceux assemblés par l'équipe INRS-Polytechnique sont corrects, à l'exception du revêtement de la route pour les tronçons, et du marquage et de la largeur des approches pour les carrefours.

4.4 Méthode simple de sécurité routière

Les résultats de la méthode simple de sécurité routière se basent sur les débits collectés durant la collecte de données pour chaque groupe. Les moyennes des débits horaires de chaque groupe, tels que définis dans la section 3.5.1 et l'écart type des débits collectés pour chaque groupe sont montrés dans le Tableau 4-7.

Tableau 4-7: Moyenne des débits véhiculaires (en véh/h) des groupes de sites

Groupe	Moyenne	Écart type	Nombre de sites collectés (pourcentage)	Nombre de sites dans le groupe
Carrefours				
1. Artère urbaine	447,31	253,85	10 (6,3 %)	160
2. MTQ/mun urbain	370,00	153,67	7 (4,6 %)	151
3. Locale rurale	7,00	4,02	14 (9,5 %)	147
4. Locale urbain moins de 150 hab./km ²	54,30	68,60	25 (5,0 %)	502
5. Locale urbain plus de 150 hab./km ²	121,56	86,87	32 (3,1 %)	1 035
6. Collectrice municipale	187,57	124,41	7 (12,3 %)	57
7. MTQ/mun autres	250,16	84,71	9 (4,0 %)	223
Tronçons				
1. Locale urbaine plus de 150 hab./km ²	19,32	21,82	23 (1,2 %)	1 850
2. Locale urbaine moins de 150 hab. /km ²	32,58	34,30	17 (1,8 %)	959
3. Artère urbaine	190,43	95,91	5 (2,5 %)	202
4. Locale rurale	14,00	14,42	11 (2,4 %)	460
5. Collectrice municipale	38,04	19,82	4 (6,1 %)	66

Le premier indicateur de la méthode simple de sécurité routière, la fréquence d'accidents, a été calculée pour les sites et comparés aux seuils spécifiés dans la méthodologie du mémoire (4 accidents par carrefour sur la période d'analyse, et 0,2 accident par km sur la période d'analyse pour les tronçons). Le deuxième indicateur, le taux d'accidents, a été calculé également pour les sites et il a été comparé à son taux d'accidents critique. Le dernier indicateur, l'indice de gravité, a également été calculé pour tous les sites et il a été comparé avec l'indice de gravité moyen du groupe dont le site fait partie. Le Tableau 4-8 montre le nombre de sites considérés problématiques selon les tests des trois indicateurs.

Tableau 4-8: Nombre de sites (tronçons et carrefours) problématiques selon les tests sur chaque indicateur

Type de site	Indicateurs		
	Fréquence d'accidents	Taux d'accidents	Indice de gravité
Nombre de tronçons problématiques	484	138	130
Nombre de carrefours problématiques	278	211	290

Le Tableau 4-9 montre la correspondance entre les tests sur les trois indicateurs pour les tronçons, et le Tableau 4-10 montre la correspondance entre les tests sur les trois indicateurs pour les carrefours. Ces deux tableaux reposent sur l'attribution d'un site dans une case seulement du tableau. Par exemple, un site qui est considéré comme problématique selon les tests sur les trois indicateurs, ne sera pas compté pour chaque indicateur individuellement ou par d'indicateurs. Les totaux des deux tableaux comptent le nombre total des sites considérés problématiques pour chaque indicateur. On voit que le test de l'indicateur de fréquence d'accidents identifie le plus grand nombre de sites problématiques pour les tronçons, tandis que le test de l'indice de gravité identifie le plus grand nombre de sites problématiques pour les carrefours. Le plus grand nombre de sites détectés par une paire d'indicateurs est pour l'ensemble des tests sur les indicateurs de la fréquence d'accidents et du taux d'accidents pour les tronçons et les carrefours. Cela permet de conclure que la fréquence d'accidents, qui ne nécessite pas le débit véhiculaire du site, peut être une alternative au taux d'accidents.

Tableau 4-9: Correspondance des tronçons détectés comme problématiques par les tests sur les différents indicateurs

Indicateurs	Nombre de sites problématiques selon :		
	Fréquence d'accidents	Taux d'accidents	Indice de gravité
Fréquence d'accidents	264	91	82
Taux d'accidents	91	0	0
Indice de gravité	82	0	1
Les trois indicateurs	47		
Total	484	138	130

Tableau 4-10: Correspondance des carrefours détectés comme problématiques par les tests sur les différents indicateurs

Indicateurs	Nombre de sites problématiques selon :		
	Fréquence d'accidents	Taux d'accidents	Indice de gravité
Fréquence d'accidents	62	84	49
Taux d'accidents	84	27	17
Indice de gravité	49	17	141
Les trois indicateurs	83		
Total	278	211	290

4.5 Méthode Bayésienne

La méthode bayésienne a été appliquée pour chaque site afin de déterminer le nombre attendu d'accidents. Cela a permis dans un second temps d'appliquer la procédure d'identification de sites problématiques selon la probabilité postérieure d'excès.

4.5.1 Carrefours

Environ 80 % de tous les accidents (5 643 accidents) qui se sont produits dans la région d'étude ont eu lieu dans ou près d'un carrefour (c'est-à-dire à moins de 50 mètres d'un carrefour). Après plusieurs essais et l'application des tests AIC et Pearson (χ^2) la SPF qui arrive le mieux à estimer la fréquence d'accidents attendue aux carrefours ayant tous les coefficients significatifs à $p < 0,05$ est :

Équation 4-1

$$SPF = X_0^{0.337} \times e^{(-1.352 - 0.691 \times X_1 + 1.422 \times X_2 + 1.0554 \times X_3 + 1.337 \times X_4 + 0.767 \times X_5)}$$

où :

Tableau 4-11: Paramètres de la SPF pour tous les accidents aux carrefours

Coefficient	Signification (attributs)	Type	Écart type	Intervalle de confiance de 95 %	
β_0	Densité	Numérique	0,022	0,293	0,381
β_1	Carrefour en T	Binaire	0,090	-0,868	-0,513
β_2	Carrefour MTQ/municipal	Binaire	0,115	1,197	1,647
β_3	Passage pour piéton	Binaire	0,141	0,778	1,332
β_4	Virage à droite canalisé	Binaire	0,224	0,897	1,778
β_5	Occupation agricole	Binaire	0,128	0,515	1,019
Constante			0,165	-1,677	-1,028

Une valeur p ⁹ supérieure à 0,05 est équivalente au fait que l'intervalle de confiance du coefficient à 95 % ne contienne pas la valeur zéro. C'est-à-dire que si l'estimation des coefficients est effectuée un grand nombre de fois, en affirmant à chaque fois que le coefficient à estimer se trouve dans cet intervalle, on se tromperait en moyenne 5 fois sur cent. Ainsi, la SPF montre que le nombre d'accidents attendu augmente lorsque la densité augmente, ce qui est peut-être lié à un débit élevé au carrefour, et donc à une plus haute probabilité d'avoir un accident. Ceci est d'abord confirmé avec l'attribut, « passage pour piéton », qui est souvent présent lorsqu'il y a une présence élevée de piétons dans le carrefour. La SPF indique également que les carrefours qui comportent un virage à droite canalisé ou qui sont à l'interface du réseau supérieur sont aussi plus susceptibles d'enregistrer un nombre d'accidents plus élevé que les autres carrefours de la région. Les carrefours à l'interface du réseau supérieur et qui comportent un virage à droite canalisé sont des carrefours ayant un débit véhiculaire habituellement plus élevé que les carrefours du réseau municipal, ce qui augmente le nombre d'accidents attendu. Une affectation du sol agricole a un effet également sur la probabilité d'avoir un accident. Les conducteurs font souvent moins attention et se sentent plus en sécurité lorsque la zone est moins urbanisée. Finalement, le seul attribut qui fait diminuer le nombre d'accidents attendu est la géométrie du carrefour. Les carrefours ayant une géométrie en « T », c'est-à-dire ayant seulement 3 approches, ont une probabilité moins élevée d'enregistrer un accident. Étant donné que la SPF a été estimée sans les débits véhiculaires des carrefours, une géométrie en « T » peut être liée à un débit véhiculaire plus bas que d'autres géométries, comme les carrefours en croix.

Tel qu'expliqué dans la section 2.3.3, le paramètre de dispersion ($\Phi=0,42$) est obtenu facilement avec le même logiciel statistique utilisé pour estimer la SPF.

4.5.2 Tronçons

Le reste des accidents, 20 % des accidents ou 1 437 accidents, s'est produit sur un tronçon routier. De la même manière qu'avec les carrefours, après plusieurs essais et l'application des

⁹ La valeur P est la probabilité de se tromper en rejetant l'hypothèse nulle et une valeur de $p < 0.05$ est normalement prise.

tests AIC et Pearson (χ^2) la SPF qui arrive à mieux estimer la fréquence d'accidents attendue aux tronçons ayant tous les coefficients significatifs à $p < 0,05$ est :

Équation 4-2

$$SPF = X_0^{0.3551} \times X_1^{2.167} \times e^{(-3.761 + 1.1455 \times X_2 - 1.188 \times X_3)}$$

où :

Tableau 4-12: Paramètres de la SPF pour tous les accidents aux tronçons

Coefficient	Signification (attribut)	Type	Écart type	Intervalle de confiance de 95 %	
β_0	Densité	Numérique	0,027	0,300	0,409
β_1	Nombre de voies	Numérique	0,288	1,601	2,733
β_2	Pavé	Binaire	0,160	0,830	1,460
β_3	Locale urbaine	Binaire	0,118	-1,420	-0,956
Constante			0,242	-4,236	-3,286

Puisque on modélise la fréquence des accidents sur les tronçons et que les tronçons varient en longueur, la longueur a donc été utilisée comme mesure d'exposition dans cette SPF. La SPF des tronçons montre que les quatre attributs ont une association statistiquement significative. Comme dans les carrefours, le nombre d'accidents attendu augmente lorsque la densité augmente, ce qui est peut-être lié à une utilisation élevée du tronçon par des usagers, et donc à une plus haute probabilité d'avoir un accident. Le nombre de voies qui peut être lié à l'achalandage du tronçon augmente également le nombre d'accidents attendus sur un tronçon. Les tronçons pavés augmentent aussi le nombre d'accidents attendu sur les tronçons, ce qui est peut-être lié à l'achalandage et la vitesse pratiquée par les usagers sur une route pavée par rapport à celle pratiquée sur les routes non-pavées. Finalement, les routes de type « locale urbaine » diminuent le nombre d'accidents attendu. Les conducteurs font souvent plus attention sur des routes urbaines. De la même manière qu'avec les carrefours et tel qu'expliqué dans la section 2.3.3, le paramètre de dispersion ($\Phi=0,43$) est obtenu grâce au logiciel statistique.

4.5.3 Méthode Bayésienne – accidents avec des dommages corporels

La SPF considérant les accidents corporels a pu être calibrée seulement pour les carrefours. Aucun coefficient des attributs de tronçons utilisés dans la SPF des accidents corporels n'est significatif. Par conséquent, seuls les carrefours considérant les accidents corporels et ayant plusieurs coefficients significatifs à $p < 0,05$ ont une SPF :

Équation 4-3

$$SPF = X_0^{0.286} \times e^{(-3.459 + 1.174 \times X_1 + 1.284 \times X_2 + 1.017 \times X_3 + 0.976 \times X_4 + 1.498 \times X_5)}$$

Où :

Tableau 4-13: Paramètres de la SPF pour les accidents corporels aux carrefours

Coefficient	Signification (attributs)	Type	Écart type	Intervalle de confiance de 95 %	
β_0	Densité	Numérique	0,034	0,219	0,353
β_1	Occupation agricole	Binaire	0,185	0,811	1,537
β_2	Carrefour MTQ/municipal	Binaire	0,157	0,976	1,592
β_3	50 % des approches ont des voies de virages à gauche exclusives	Binaire	0,389	0,253	1,781
β_4	Carrefour en croix	Binaire	0,130	0,720	1,232
β_5	Virage à droite canalisé	Binaire	0,282	0,945	2,052
Constante			0,234	-3,919	-3,001

Les attributs de la densité, de l'occupation agricole, et du virage à droite canalisé sont non seulement présents dans la SPF considérant tous les accidents pour les carrefours, mais aussi dans la SPF considérant les accidents corporels. Ces attributs sont alors un facteur qui augmente le nombre d'accidents avec dommages corporels attendu. Les carrefours ayant une géométrie en

croix et 50 % des approches avec des voies de virage à gauche augmentent également le nombre d'accidents avec dommages corporels attendus aussi, ces attributs sont peut-être liés à une augmentation des manœuvres pouvant produire des accidents dans un carrefour. De la même manière que dans les autres SPFs et tel qu'expliqué dans la section 2.3.3, le paramètre de dispersion ($\Phi=0,34$) est obtenu grâce au logiciel statistique utilisé.

4.5.4 Probabilité postérieure d'excès

La probabilité postérieure d'excès classe les sites en se basant sur la probabilité de dépasser le seuil déterminé dans le Tableau 4-14. Tel qu'expliqué dans la section 3.5.2, les sites problématiques peuvent se classer en trois catégories : site problématique à fréquence élevée, site problématique à gravité élevée, et site problématique à fréquence et à gravité élevées. Étant donné qu'aucune SPF n'a pu être calibrée pour les accidents avec dommages corporels des tronçons, aucune comparaison ni distinction entre les sites problématiques à fréquence élevée et les sites problématiques à gravité élevée n'est faite. Le Tableau 4-15 montre ainsi que 67 tronçons ont été classés comme site problématique à fréquence élevée.

Tableau 4-14: Classification des carrefours problématiques

Catégorie	Nombre de sites
Site problématique à fréquence et à gravité élevées	61
Site problématique à fréquence élevée	228
Site problématique à gravité élevée	0
Site non problématique	1 986

Tableau 4-15: Classification des tronçons problématiques

Catégorie	Nombre de sites
Site problématique à fréquence élevée	67
Site non problématique	3 470

4.6 Discussion

L'application de la méthode simple de sécurité routière et la probabilité postérieure d'excès qui se base sur la méthode bayésienne identifient différents sites problématiques. Le Tableau 4-16 montre la correspondance entre les principaux indicateurs de la méthode simple de sécurité

routière et la méthode bayésienne. La plupart des carrefours à fréquence et à gravité élevées et les carrefours à fréquence élevée ont été identifiés par les tests sur les trois indicateurs ensemble. La paire d'indicateurs fréquence d'accidents et taux d'accidents testés ensemble a identifié la plupart des carrefours à fréquence élevée et certains à fréquence et à gravité élevées selon la méthode bayésienne, suivi par la paire d'indicateurs fréquence d'accidents avec l'indice de gravité testé ensemble. Aucun test d'indicateur tout seul n'a pu identifier un carrefour à fréquence et à gravité élevées identifié par la méthode bayésienne. Le test de l'indice de gravité utilisé seul a identifié 136 carrefours problématiques qui ont été identifiés comme non problématiques selon la méthode bayésienne. Cela est lié au fait que l'indice de gravité peut considérer un site problématique si celui-ci a enregistré même un seul accident ayant causé des dommages corporels. Il est d'abord important de ne pas utiliser l'indice de gravité comme le premier test ou seul test afin de considérer un site problématique.

Le test sur l'indicateur de fréquence d'accidents identifie 259 tronçons problématiques que la méthode bayésienne n'identifie pas comme problématiques tel que montré dans le Tableau 4-17. Les tests sur les trois indicateurs et la paire d'indicateurs fréquence d'accidents et taux d'accidents identifient la plupart des tronçons identifiés comme problématiques à fréquence élevée selon la méthode bayésienne. La paire d'indicateurs fréquence d'accidents avec l'indice de gravité testée ensemble identifie 7 tronçons problématiques à fréquence élevée selon la méthode bayésienne, suivi par le test de l'indicateur de la fréquence d'accidents utilisé seul qui en identifie 5.

Les carrefours problématiques à fréquence et à gravité élevées selon la méthode bayésienne sont majoritairement à Victoriaville (79 %, 48 de 61 sites) ou à Warwick (5 %, 3 de 61 sites) où les attributs augmentant le nombre d'accidents (y compris les accidents avec dommages corporels) sont plus présents. Les carrefours identifiés comme problématiques selon le test sur le taux d'accidents ou de l'indice de gravité sont plus répartis dans la région d'étude où seulement 37 % des sites (10 de 27 sites) et 36 % (51 de 141 carrefours) se trouvent à Victoriaville. Les carrefours identifiés comme problématiques selon le test sur l'indicateur fréquence d'accidents se trouvent à Victoriaville majoritairement (68 %, 42 de 62 carrefours). Les tronçons problématiques à fréquence élevée selon la méthode bayésienne débutent ou finissent à Victoriaville (60 %, 41 de 67 tronçons) où, comme pour les carrefours, les attributs augmentant le nombre d'accidents attendu sont plus présents. Les tronçons identifiés comme problématiques selon la fréquence

d'accidents et le taux d'accidents testés ensemble débutent ou finissent majoritairement à Victoriaville (65 %, 59 de 91 tronçons). Le test sur l'indice de gravité tout seul identifie un tronçon problématique qu'aucun autre test d'indicateur n'identifie. Ces observations permettent de conclure que les endroits les plus urbains (Victoriaville et Warwick) ont un nombre de sites problématiques à fréquence élevée plus important que les endroits moins urbains. Cela est peut-être lié au nombre des conflits potentiels plus élevé dans les milieux urbains que les milieux ruraux. Néanmoins, lorsque les indicateurs prennent en compte la gravité (l'indice de gravité) ou la proportion d'accidents par rapport au débit véhiculaire (le taux d'accidents), on note une distribution des sites problématiques moins importante dans le milieu urbain.

Ces résultats ont également permis de conclure que les sites identifiés comme problématique selon la méthode bayésienne ont normalement les mêmes attributs, c'est-à-dire qu'ils contiennent les attributs augmentant le nombre d'accidents attendu dans la région d'étude. Finalement, les résultats ont permis de conclure que l'estimation bayésienne prend en compte tous les sites de la région lorsqu'il est utilisé, tandis que les indicateurs considèrent chaque site de manière indépendante.

Tableau 4-16: Correspondance entre les indicateurs de la méthode simple de sécurité routière et la méthode bayésienne pour les carrefours

Indicateurs	Méthode bayésienne				
	Carrefour à fréquence et à gravité élevées	Carrefour à fréquence élevée	Carrefour à gravité élevée	Carrefour non problématique	Total
Les trois indicateurs	41	40	0	2	83
Fréquence et Indice de gravité	5	43	0	1	49
Fréquence d'accidents et Taux d'accidents	15	69	0	0	84
Taux d'accidents et Indice de gravité	0	3	0	14	17
Fréquence d'accidents seulement	0	61	0	1	62
Indice de gravité seulement	0	5	0	136	141
Taux d'accidents seulement	0	3	0	24	27
Carrefour non problématique	0	4	0	1 808	1812
Total	61	228	0	1 986	2 275

Tableau 4-17: Correspondance entre les indicateurs de la méthode simple de sécurité routière et la méthode bayésienne pour les tronçons

Indicateur	Méthode bayésienne		
	Tronçon problématique à fréquence élevée	Tronçon non problématique	Total
Les trois indicateurs	22	25	47
Fréquence d'accidents et Indice de gravité	7	75	82
Fréquence et Taux d'accidents	33	58	91
Indice de gravité et Taux d'accidents	0	0	0
Fréquence d'accidents seulement	5	259	264
Indice de gravité seulement	0	1	1
Taux d'accidents seulement	0	0	0
Tronçon non problématique	0	3052	3052
Total	67	3470	3537

CHAPITRE 5 PISTES D’ACTION POUR AMÉLIORER LA SÉCURITÉ ROUTIÈRE

Ce chapitre propose des pistes d’action pour améliorer la sécurité routière car l’objectif de toute analyse de sécurité est de proposer des mesures globales pour la région d’étude ou spécifiques à des sites en particulier. La section 5.1 propose des pistes de solution pour la région à l’étude en se basant sur les résultats de la méthode des k-moyennes. La section 5.2 propose des pistes de solution spécifiques à plusieurs carrefours et tronçons choisis parmi ceux identifiés comme problématiques par les trois indicateurs et la méthode bayésienne.

5.1 Pistes de solution pour la région

Des pistes de solutions globales visent à s’attaquer aux problèmes de sécurité qui existent sur tout le réseau routier de la région d’étude. Ces pistes impliquent l’éducation, le contrôle des conducteurs, ou la conception des routes. Les résultats de la méthode des k-moyennes révèlent une typologie des accidents de la région. Des pistes de solution recommandées par les livres « Traffic Engineering » et le « Highway Safety Manual » pour chaque type d’accident sont montrées dans le Tableau 5-1. (Roess et al., 2004) (AASHTO, 2010)

Tableau 5-1: Pistes de solutions pour la typologie des accidents identifiés par l'algorithme des k-moyennes (Roess et al., 2004)

Groupe d'accident	Caractéristiques principales des accidents	Piste de solution	Méthodes
Deux véhicules – Zone urbaine	1. Impliquant deux véhicules; 2. Dans un carrefour; 3. Dans une zone urbaine; 4. Code d'impact : Latéral, arrière et gauche opposant.	Réduire le nombre d'accidents se produisant dans un carrefour.	1. Installer et utiliser des méthodes automatisées pour surveiller et assurer le contrôle de la circulation du carrefour (e.g., détecteurs de véhicules afin de changer le phasage du feu de manière dynamique) ; 2. Mettre en œuvre des stratégies plus efficaces de contrôle d'accès au carrefour pour la sécurité des usagers (e.g., voies de virages, interdiction de stationnement autour du carrefour, augmentation du rayon de bordure du trottoir, élargissement des voies).
		Minimiser la conduite irresponsable.	1.Élaborer et mettre en œuvre une campagne de sensibilisation du public ; 2. Fournir de l'aide pour l'auto-évaluation et l'amélioration des compétences des conducteurs; 3. Accroître l'efficacité de la suspension du permis et des procédures de révocation.
		Code d'impact : latéral, gauche opposant et arrière.	1. Latéral : considérer l'application d'un système de contrôle de la circulation, tel qu'un feu de circulation (parmi les carrefours où les accidents de ce groupe se produisent, seulement 35 % ont des feux de circulation), ou implémenter une signalisation plus visible (parmi les carrefours où les accidents de ce groupe se produisent, seulement 20 % ont une signalisation à toutes les approches). 2. Gauche opposant : interdire le virage à gauche, étudier le phasage du feu de circulation, implémenter de la signalisation à toutes les approches afin d'aviser les conducteurs du mouvement de l'approche opposée. 3. Arrière : améliorer l'éclairage, améliorer le drainage de la route, indiquer clairement les stationnements disponibles.

Tableau 5-1: Pistes de solutions pour la typologie des accidents identifiés par l'algorithme des k-moyennes (Roess et al., 2004) (suite)

Groupe d'accident	Caractéristiques principales des accidents	Piste de solution	Méthodes
Un seul véhicule	1. Un seul véhicule impliqué; 2. Dans une zone agricole; 3. Accident contre un animal ou un objet fixe ou de type « sans collision »; 4. Sur des routes ayant une vitesse affichée élevée.	Maintenir les véhicules sur la route.	Vérifier que le tronçon où les accidents du groupe se produisent possède les critères suivants : 1. Marquage et délimitation de la route visible; 2. Un système d'entretien de la route régulier; 3. Des glissières de sécurité; 4. Un éclairage efficace; Implémenter les critères manquants afin de maintenir les véhicules sur la route.
		Maintenir les conducteurs alertes.	1. Fournir des espaces de repos pour les conducteurs; 2. Installer des bandes rugueuses sur les accotements;
		Minimiser la conduite irresponsable.	1. Encourager les conducteurs à ne pas consommer de substances nuisant à leur conduite; 2. Voir les pistes de solution pour le même problème dans le groupe « Deux véhicules – Zone urbaine ».
		Maintenir la route sans obstacle (i.e. animaux, objet fixe).	1. Installer des barrières qui empêchent les animaux de traverser la route; 2. Avertir les usagers de la possibilité d'un obstacle imprévu; 3. Fournir des formations aux municipalités sur le choix et l'installation des objets fixes indispensables (i.e., lampadaires).

Tableau 5-1: Pistes de solutions pour la typologie des accidents identifiés par l'algorithme des k-moyennes (Roess et al., 2004) (suite)

Groupe d'accident	Caractéristiques principales des accidents	Piste de solution	Méthodes
Cyclistes	1. Dans une zone urbaine; 2. Impliquant une personne de moins de 24 ans; 3. Gravité élevée; 4. Dans un carrefour; 5. Sur une route de type « artère urbaine » ou « locale urbaine ».	Sensibiliser les usagers du réseau routier au partage de la route.	1. Créer des conditions propices pour les différents usagers de la route (e.g., pistes cyclables, bandes cyclables); 2. Considérer l'implantation d'un permis de conduire pour les cyclistes ou d'un âge légal d'utilisation du vélo; 3. Élaborer et mettre en œuvre une campagne de sensibilisation du public; 4. Développer et fournir des aides techniques comme les simulateurs pour l'auto-évaluation et l'amélioration des compétences des conducteurs.
		Réduire la gravité de l'accident.	1. Implémenter une signalisation avisant les usagers de l'utilisation d'un site par plusieurs types de véhicules; 2. Rendre obligatoire l'utilisation du casque (Persaud, N. et al., 2012); 3. Sensibiliser la région au partage de la route.
Valeurs manquantes	Les descriptions des accidents ne sont pas précisées; Dommages matériaux; Zone urbaine.	Améliorer l'efficacité et la prise d'information de l'agent de sécurité.	1. Élaborer et mettre en œuvre une campagne de prise d'information pour les agents de police lors d'un accident. 2. Améliorer les outils de prise d'information des agents de sécurité routière (e.g., munir les policiers de GPS, ou d'un outil pour mesurer la pente de la route).

5.2 Pistes de solution pour les carrefours et les tronçons

Chaque site (soit un carrefour ou un tronçon) a ses propres caractéristiques qui doivent être étudiées et analysées en détail afin d'améliorer sa sécurité. Un total de 41 carrefours et 22 tronçons ont été considérés comme problématiques par les trois indicateurs principaux (taux d'accidents, fréquence d'accidents et indice de gravité) et la probabilité postérieure d'excès (en s'appuyant sur la méthode bayésienne); ce mémoire présente le diagnostic de 3 carrefours et 3 tronçons problématiques ainsi que des pistes de solution pour ces mêmes sites, tel que présenté dans le rapport « Projet pilote de diagnostic et plan d'action de sécurité routière en milieu municipal – Territoire de la municipalité régionale de comté d'Arthabaska » comme montré de la Figure 5-3 à la Figure 5-7 (Saunier et al., 2014).

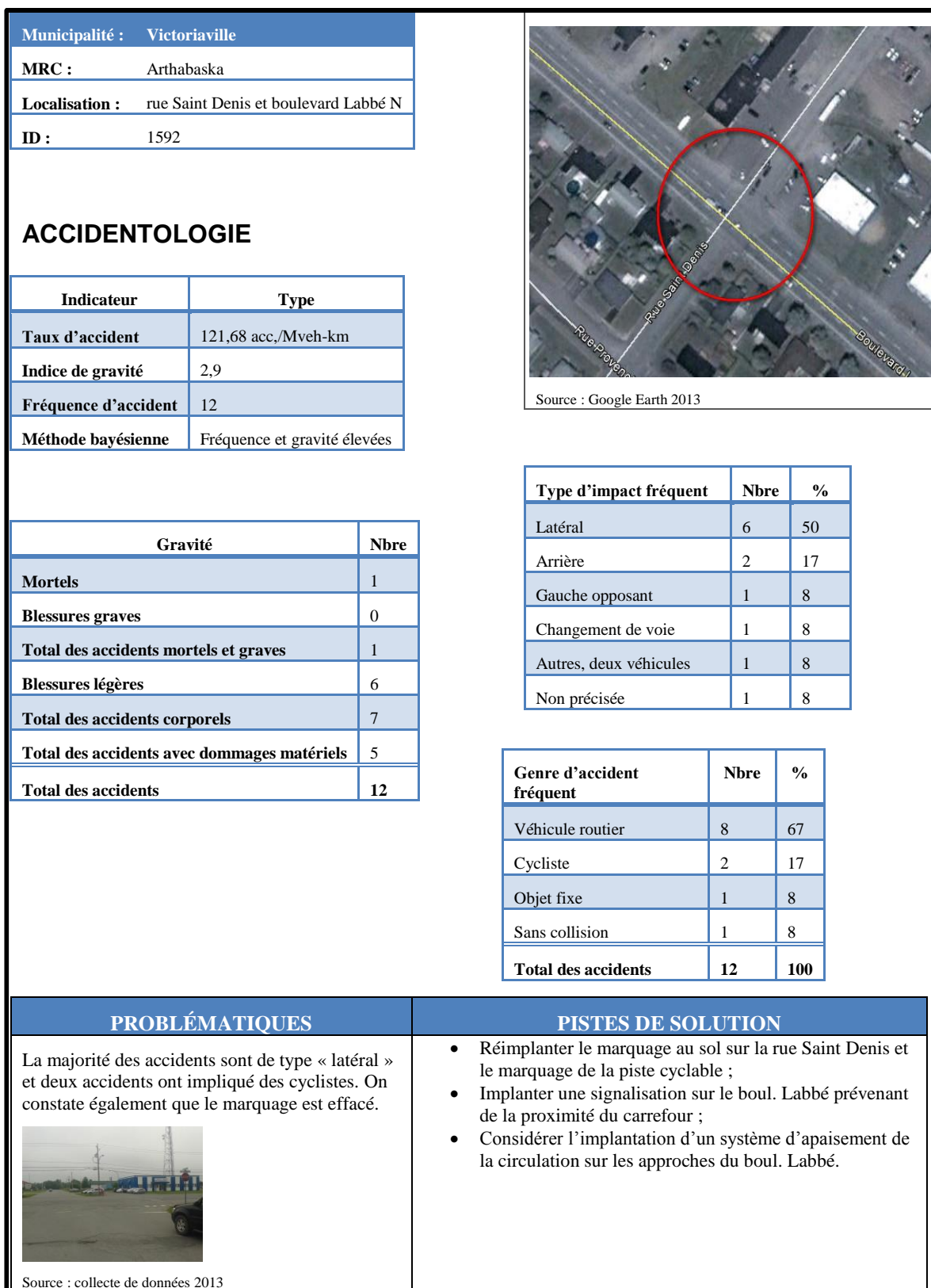


Figure 5-1: Diagnostic de sécurité routière du carrefour de la rue Saint-Denis et le boulevard Labbé à Victoriaville

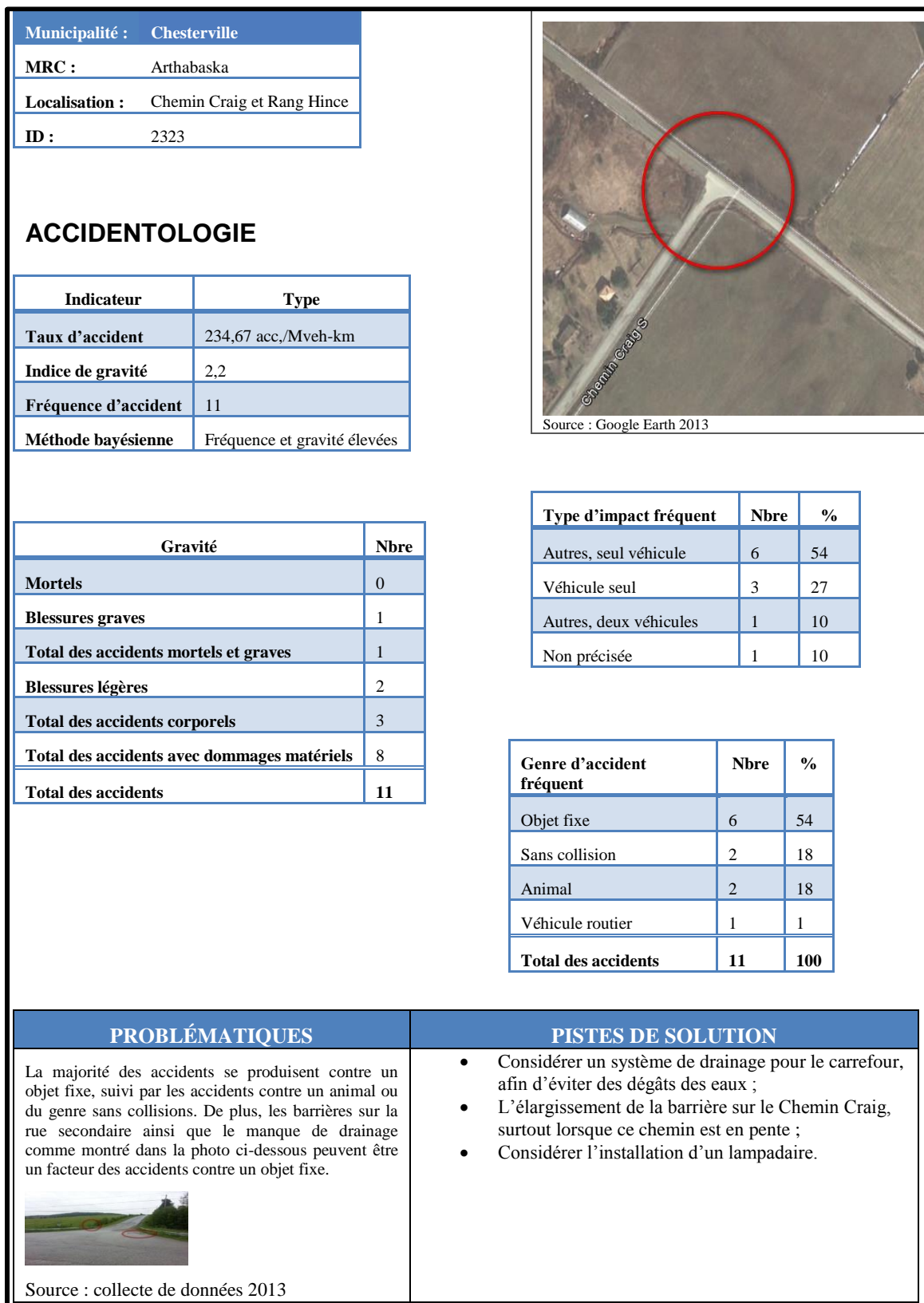


Figure 5-2: Diagnostic de sécurité routière du carrefour du chemin Craig et le Rang Hince à Chester ville

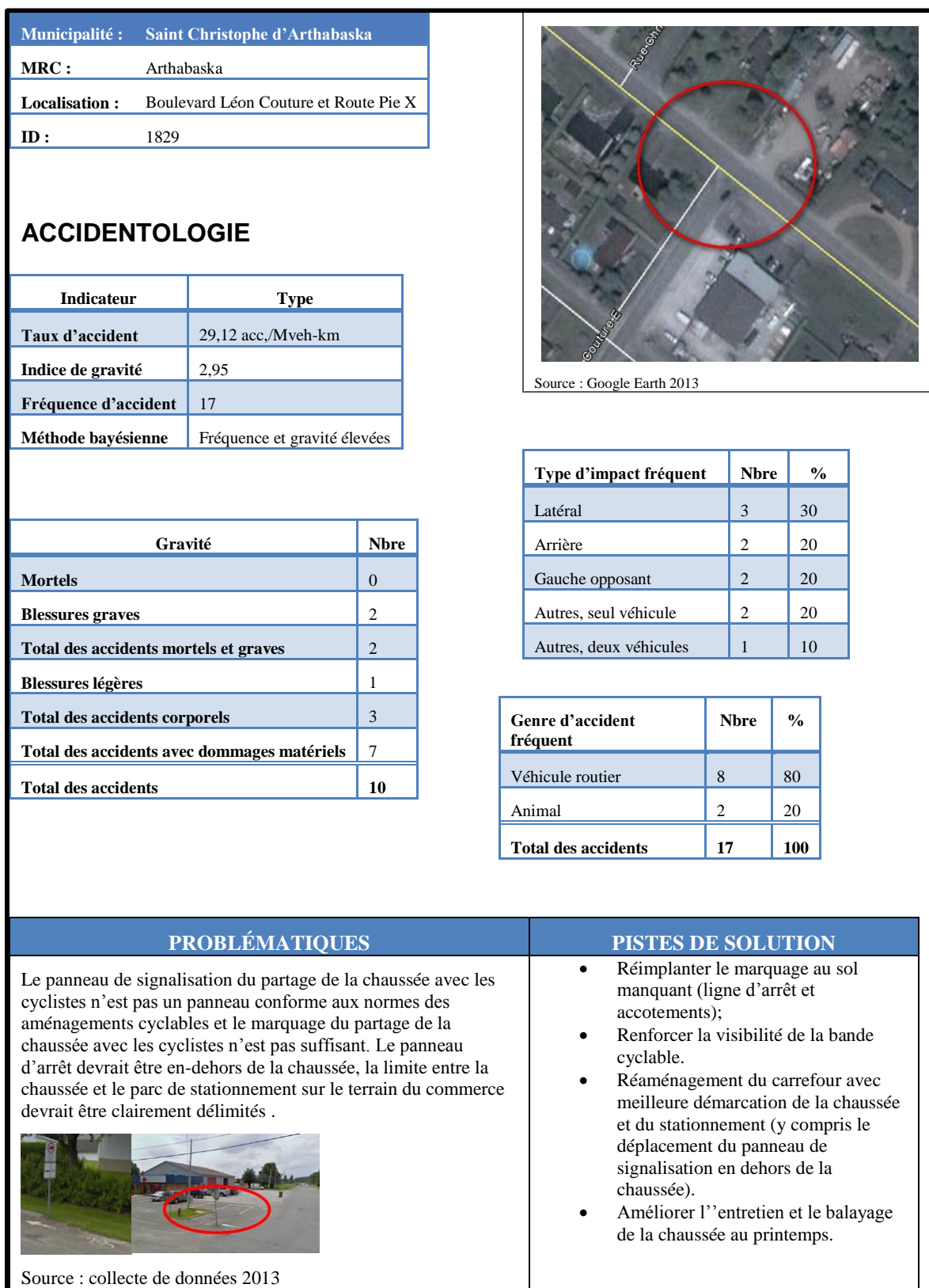


Figure 5-3: Diagnostic de sécurité routière du carrefour du boulevard Pie X et Leon-Couture à Saint Christophe d'Arthabaska

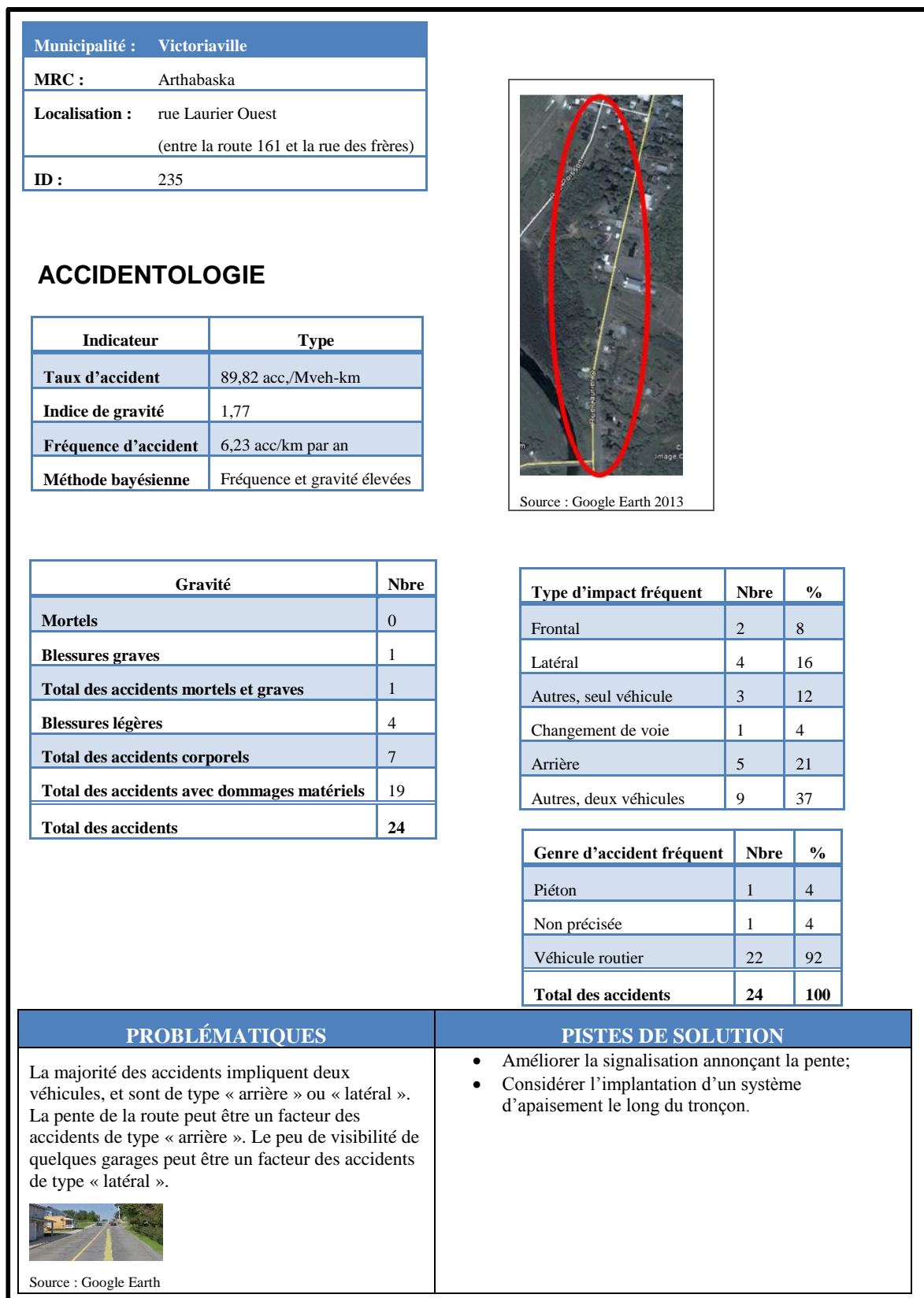


Figure 5-4: Diagnostic de sécurité routière de la rue Laurier Ouest à Victoriaville

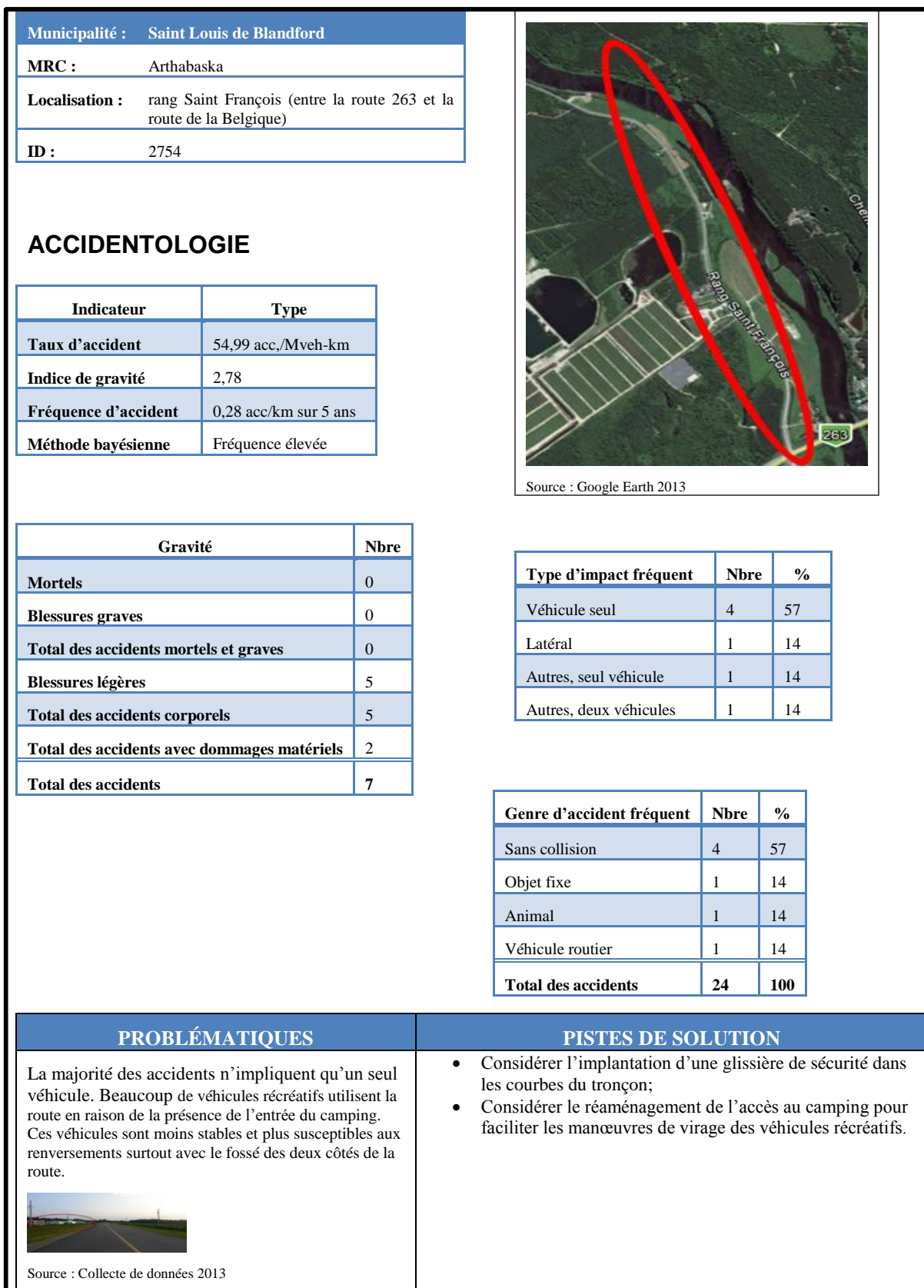



Figure 5-5: Diagnostic de sécurité routière du rang Saint-François à St-Louis de Blandford

Municipalité : Victoriaville/Saint-Albert	
MRC : Arthabaska	
Localisation : 8 ^e rang (entre rue Cartier et rang Desharnais)	
ID : 4489	

ACCIDENTOLOGIE

Indicateur	Type
Taux d'accident	36,24 acc./Mveh-km
Indice de gravité	2,0
Fréquence d'accident	0,44 acc/km sur 5 ans
Méthode bayésienne	Fréquence élevée



Source : Google Earth 2013


Gravité	Nbre
Mortels	0
Blessures graves	0
Total des accidents mortels et graves	0
Blessures légères	2
Total des accidents corporels	2
Total des accidents avec dommages matériels	3
Total des accidents	5

Type d'impact fréquent	Nbre	%
Véhicule seul	3	60
Autres, deux véhicules	1	20
Autres, seul véhicule	1	20

Genre d'accident fréquent	Nbre	%
Objet fixe	3	60
Sans collision	1	20
Non précisée	1	20
Total	5	100

PROBLÉMATIQUES

La majorité des accidents se produisent contre un objet fixe ou sont du genre « sans collision ». La plupart des accidents n'impliquent qu'un seul véhicule. Aucune signalisation n'est présente le long du tronçon, et le virage (montré ci-dessous) n'est pas annoncé.



Source : Google street view

PISTES DE SOLUTION

- Considérer l'installation d'un panneau indiquant la limite de vitesse;
- Considérer l'installation d'une mesure de réduction de la vitesse.

Figure 5-6: Diagnostic de sécurité routière du 8^e rang entre Victoriaville et Saint Albert

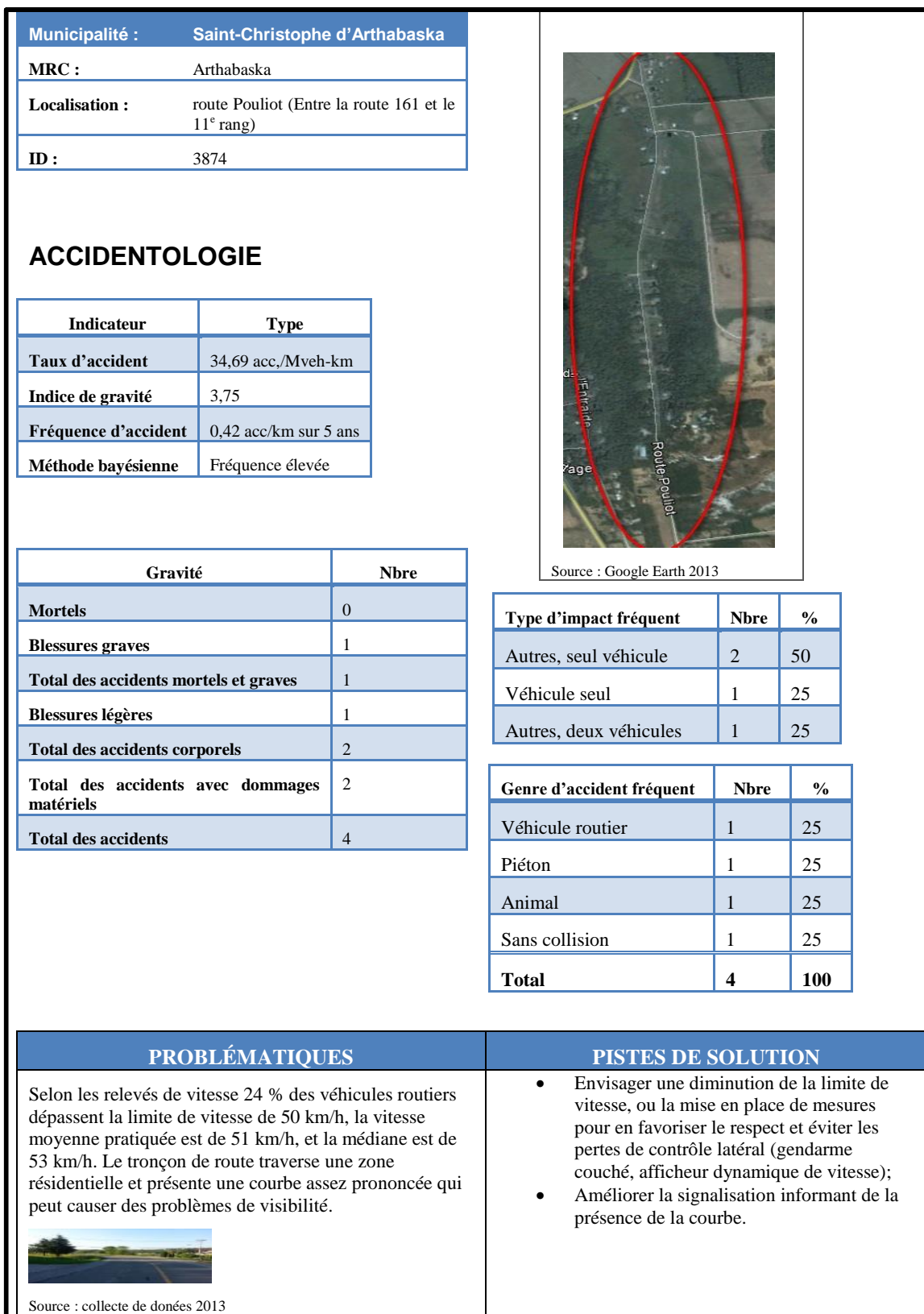


Figure 5-7: Diagnostic de sécurité routière de la route Pouliot à St Christophe d'Arthabaska

CHAPITRE 6 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce projet contribue à mieux comprendre la validité et l'utilité des principaux indicateurs de sécurité routière, et des méthodes plus avancées en sécurité routière telle que la méthode bayésienne, ainsi qu'à fournir une méthodologie utile pour effectuer un regroupement des accidents dans un but d'amélioration de la sécurité routière dans un milieu rural et périurbain. Le présent chapitre présente les conclusions, la synthèse, les limites et les perspectives du projet.

6.1 Synthèse

Tout d'abord, la revue de littérature a permis de définir que le risque d'un accident est composé de deux facteurs importants : la probabilité d'avoir un accident, liée au débit véhiculaire, et la gravité de l'accident. Les milieux ruraux et périurbains sont caractérisés par un faible débit, mais par un taux élevé d'accidents graves. Cela montre qu'il existe aussi un risque d'accident dans les milieux ruraux et périurbains même si ces milieux ont un débit véhiculaire moins important que le milieu urbain. D'autre part, la revue de littérature a également permis de faire ressortir les principaux problèmes de sécurité routière de tels milieux. Les problématiques de ces milieux sont, entre autres : les services d'urgence qui ne sont pas toujours à proximité, les vitesses pratiquées très élevées, le manque de signalisation et de marquage, et la variation de la géométrie et des conditions des routes telles que les virages, le type de chaussée, et les conditions météorologiques.

La méthode d'exploration de données est constituée de plusieurs étapes importantes ayant comme objectif d'extraire des tendances d'une base de données. Une étape importante est le regroupement de réponses similaires des variables. Ensuite, l'algorithme non-supervisé des k-moyennes est appliqué afin de regrouper les accidents en grands groupes. Les accidents de la région ont été classés en quatre groupes : les accidents impliquant deux véhicules dans une zone urbaine, les accidents impliquant un seul véhicule, les accidents impliquant des cyclistes et les accidents ayant trop de valeurs non précisées. Les accidents appartenant au groupe impliquant deux véhicules dans une zone urbaine se produisent majoritairement dans un carrefour et sont causés majoritairement par une manœuvre ou une conduite illégale. Les accidents appartenant au groupe n'impliquant qu'un seul véhicule se produisent majoritairement dans une zone agricole durant la nuit et présentent un niveau de gravité assez élevé. Le groupe impliquant des cyclistes

contient en proportion un nombre d'accidents graves plus élevé que les autres groupes et ces accidents impliquent plus souvent des conducteurs jeunes (24 ans et moins) par rapport aux autres groupes. Finalement, le groupe des accidents ayant des réponses non précisées montre que les rapports de police ne sont souvent pas complétés lorsque les accidents causent des dommages matériels mineurs. Ce manque d'information est dû au fait que les policiers ne sont pas légalement obligés de remplir les rapports d'accidents lorsque l'accident est de type « matériel mineur » (ayant causé moins de 2000 \$ de dommages) (SAAQ, 2014).

Deuxièmement, plusieurs pays et régions du monde utilisent encore des indicateurs de sécurité routière qui sont sensibles au phénomène de régression vers la moyenne. Afin d'éviter ce problème, la meilleure méthode selon la littérature est la méthode bayésienne empirique. La méthode bayésienne se base sur une régression utilisant les caractéristiques de tous les sites d'une région pour estimer la moyenne des accidents attendus d'un site en particulier. Trois régressions ont été créées dans le cadre de ce projet afin d'estimer la moyenne des accidents attendus, une pour les carrefours considérant tous les accidents, une pour les carrefours considérant les accidents avec des dommages corporels seulement et une pour les tronçons considérant tous les accidents. Cette méthode combinée avec la probabilité postérieure d'excès a permis d'identifier les sites les plus problématiques dans la région. Les résultats de cette méthode ont été comparés avec les résultats des tests des indicateurs les plus utilisés au Québec : l'indice de gravité, la fréquence d'accidents et le taux d'accidents. Un total de 41 carrefours et 22 tronçons ont été considérés problématiques par la méthode bayésienne et les tests sur les trois indicateurs ensemble.

Finalement, des pistes de solution visant les quatre groupes d'accidents ont été recommandées afin d'améliorer la sécurité routière globale de la région. Des pistes de solution, à titre d'exemple, pour trois carrefours et trois tronçons identifiés comme problématiques par les tests sur les trois indicateurs ensemble et la méthode bayésienne ont été aussi proposées.

6.2 Conclusion

Ce mémoire a introduit le regroupement d'accidents par la méthode des k-moyennes dans l'analyse de sécurité routière. Le regroupement d'un ensemble de données sur les accidents en groupes plus homogènes permet d'identifier des facteurs importants qui pourraient peut-être

passer inaperçus autrement. En effet, les quatre groupes d'accidents par la méthode des k-moyennes ont du sens et ajoutent de la valeur à des analyses et pistes de solution subséquentes visant toute la région. Cependant, certains regroupements proposés par la méthode des k-moyennes mettaient trop d'importance sur certaines variables descriptives (e.g., la saison, l'âge du conducteur) sans regrouper les causes des accidents (e.g., les facteurs de l'accident, le type de l'accident). Les pistes de solutions des regroupements d'accidents basés majoritairement sur des variables descriptives offriraient une perspective sociologique plutôt que technique (e.g., la conception du carrefour, le contrôle du carrefour, la signalisation). Il est d'abord important d'essayer plusieurs itérations de regroupements d'accidents afin de choisir le regroupement.

Les indicateurs de sécurité routière les plus courants sont généralement estimés directement à partir du nombre d'accidents enregistrés sur un site ou dans une région. Par contre, la méthode bayésienne combine le nombre d'accidents avec les caractéristiques des sites d'une région. Cela présente plusieurs avantages : l'élimination du phénomène de régression vers la moyenne et une meilleure estimation du nombre d'accidents d'un site basée sur les caractéristiques des sites semblables de la région. La méthode bayésienne est souvent perçue comme trop théorique et complexe (Hauer et al., 2002a). Ce mémoire a permis de nuancer cette perception et de l'implémenter dans la pratique en sécurité routière.

Les sites de la région ont été étudiés afin d'identifier les attributs qui augmentent le nombre d'accidents attendu dans les carrefours et les tronçons routiers. Tel qu'expliqué dans la section 4.5, les attributs augmentant le nombre d'accidents attendu pour les carrefours sont : la densité de population, la présence de passages pour piétons, les voies de virage à gauche/droite, une occupation de sol agricole et les carrefours ayant une géométrie en croix. Pour les tronçons, ces facteurs sont : le nombre de voies, le revêtement du tronçon, et la densité de la population. Tandis que les tronçons de type « locale urbaine » et les carrefours ayant une géométrie en « T » diminuent le nombre d'accidents attendu. Ce mémoire a permis de conclure que ces attributs, généralement plus présent dans les municipalités plus urbaines et achalandées de la MRC à l'exception de l'occupation de sol agricole, peuvent remplacer le débit véhiculaire qui est normalement utilisé dans la méthode bayésienne et qui augmente le nombre de conflits d'accidents potentiels. De plus, la fréquence relativement basse des accidents dans une région rurale rend l'identification des sites problématiques difficile. Il est alors souhaitable de ne pas appliquer un seul test sur un indicateur afin de considérer un site problématique.

6.3 Limites

Ce projet a fait face à plusieurs limites au niveau des données et des méthodologies utilisées. Premièrement, les données des accidents proviennent directement des rapports de police. Tel qu'indiqué dans la section 3.2.1, les rapports des accidents avec dommages matériels mineurs sont peu remplis. Les rapports en général sont remplis au mieux par les policiers, sans autre source objective, par exemple pour les blessures des victimes. De plus, il n'existe actuellement pas de mécanisme de suivi de l'état de gravité des victimes (certaines blessures corporelles se révèlent un certain temps après l'accident). Ces éléments concourent à rendre les données issues des rapports d'accident incomplètes et en partie incertaines.

Deuxièmement, l'algorithme des k-moyennes est une méthode non-supervisée (les données n'ont aucune variable visée), par exemple les accidents mortels ne peuvent pas explicitement être regroupés ensemble si le but est de caractériser ces accidents mortels. Troisièmement, l'indicateur du taux d'accidents a été calculé en prenant la moyenne du débit véhiculaire de l'échantillon des groupes de carrefours et de tronçons au lieu du DJMA normalement utilisé pour cet indicateur. Il faut alors garder une certaine réserve quant à la généralisation qui stipule que le DJMA est égal aux moyennes des débits véhiculaires des sites de la région. De plus, la SPF utilisée dans la méthode bayésienne considère normalement le débit véhiculaire pour chaque site analysé. Néanmoins, puisque les débits véhiculaires ne sont pas disponibles pour chaque site, seulement les attributs disponibles (section 3.2.2 et section 3.2.3) qui sont liés aux débits véhiculaires et indirectement liés à la fréquence d'accident ont été utilisés. La validation que les débits véhiculaires ne sont pas nécessaires afin d'appliquer la méthode bayésienne est en cours d'exploration et pourra être présentée dans un article ou un projet adjacent (voir Annexe 9).

Finalement, la seule façon de déterminer si les pistes de solution proposées sont vraiment efficaces consiste à les implémenter dans plusieurs sites, tout en gardant des sites de contrôle et en faisant des analyses avant-après. Une piste de solution dans la littérature peut parfois ne pas diminuer le nombre total d'accidents d'un site, mais plutôt faire diminuer un type d'accident et augmenter un autre type d'accident. Par exemple, l'implantation d'un feu de circulation peut diminuer les accidents de type « gauche opposant », mais augmenter les accidents de type « arrière ».

6.4 Perspectives et recommandations

Ce projet propose plusieurs recommandations afin d'améliorer les méthodes de sécurité routière des milieux ruraux et périurbains. La première vise à ce que le corps policier soit sensibilisé au fait que les rapports d'accidents seront utilisés dans la recherche de sécurité routière, ainsi que dans des diagnostics de sécurité routière. De même, les méthodes de collecte d'attributs des sites présentées dans le cadre de ce mémoire pourraient être améliorées : un accès aux données officielles de la géométrie des sites (par exemple, la liste des carrefours contrôlé par des feux de circulation et la vitesse affichée qu'une municipalité aurait pu modifier) ou la création d'un inventaire officiel de ces données (par exemple, la réglementation des stationnements disponibles). Une collecte de données systématique des débits véhiculaires pourrait être mise en place afin de suivre l'évolution du débit véhiculaire de la région. La deuxième vise à accroître les ressources des municipalités afin qu'elles puissent effectuer des diagnostics de sécurité routière et implémenter des mesures de sécurité routière plus élaborées et mieux ciblées pour chaque région. Troisièmement, l'expertise locale et l'expérience des habitants pourraient être un ajout très intéressant afin de proposer de meilleures pistes de solution et de mieux cibler les problématiques de la région. Cela a été fait dans le cadre « Projet pilote de diagnostic et plan d'action de sécurité routière en milieu municipal – Territoire de la municipalité régionale de comté d'Arthabaska » (Saunier et al., 2014). De plus, il serait intéressant de comparer la moyenne d'accidents attendu trouvée par la SPF de ce projet avec celle d'une SPF considérant le DJMA de chaque site. Une étude avant-après l'implantation d'une mesure de sécurité sur un site en particulier ou dans la région en général pourrait mener à d'autres conclusions concernant le comportement des habitants de la région. Par exemple, la diminution de la vitesse affichée sur un tronçon routier peut de fois augmenter le nombre d'accidents (Goldenbeld & van Schagen, 2007). Finalement, les études de sécurité routière ne devraient pas être effectuées qu'une seule fois dans une région ou sur un site, car les usagers s'adaptent aux mesures de sécurité implémentées et ajustent leur comportement afin de maintenir le même niveau de risque qu'auparavant (Wilde, 1989). Ce nouveau risque peut engendrer de nouveaux types d'accidents ou peut faire en sorte que les conducteurs évitent le site et en utilisant un autre, transfèrent ainsi la problématique de sécurité routière à un autre site.

Les résultats ont montré que plusieurs accidents se produisent durant la nuit dans les zones agricoles. Lors d'un nouveau diagnostic de sécurité routière, la personne responsable devrait y

effectuer des comptages durant la nuit afin de connaître le nombre de véhicules circulant sur ce site et d'analyser les types de véhicules utilisant la route et la vitesse pratiquée durant cette période. Il serait tout d'abord avantageux de refaire ces analyses sur la totalité des accidents (incluant les accidents se produisant dans le réseau supérieur) survenus dans la région plutôt que sur une sélection préétablie (accidents se produisant dans le réseau municipal seulement).

BIBLIOGRAPHIE

- Aarts, L., & van Schagen, I. (2006). Driving speed and the risk of road crashes: A review. *Accident Analysis & Prevention*, 38(2), 215-224. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2005.07.004>
- AASHTO. (2010). *Highway Safety Manual* (vol. 1).
- Akinyokun, O. (2010). The design and implementation of a road safety relational database. *Information Technology for Development*, 2.
- Anderson, T. K. (2009). Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots. *Accident Analysis & Prevention*, 41(3), 359-364. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2008.12.014>
- Apparicio, P., Abdelmajid, M., Riva, M., & Shearmur, R. (2008). Comparing alternative approaches to measuring the geographical accessibility of urban health services: Distance types and aggregation-error issues. *International Journal of Health Geographics*, 7(1), 7.
- Bass, K. (2007). [Éléments de base de la conception routière. Chapitre 1: Classification].
- Bedard, M., Guyatt, G. H., Stones, M. J., & Hirdes, J. P. (2002). The independent contribution of driver, crash, and vehicle characteristics to driver fatalities. *Accident Analysis & Prevention*, 34(6), 717-727.
- Cafiso, S., Cava, G. L., & Montella, A. (2007). Safety index for evaluation of two-lane rural highways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2019(-1), 136-145.
- Cafiso, S., & Di Silvestro, G. (2011). Performance of Safety Indicators in Identification of Black Spots on Two-Lane Rural Roads. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2237(-1), 78-87.
- Cheng, W., & Washington, S. P. (2005). Experimental evaluation of hotspot identification methods. *Accident Analysis & Prevention*, 37(5), 870-881. doi: 10.1016/j.aap.2005.04.015
- Cook, D. J. (2010). Secondary Low Volume Rural Road Safety: Segmentation, Crash Prediction, and Identification of High Crash Locations.
- Dell'Acqua, G., & Russo, F. (2011). Safety performance functions for low volume roads. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 9.
- Depaire, B., Wets, G., & Vanhoof, K. (2008). Traffic accident segmentation by means of latent class clustering. *Accident Analysis & Prevention*, 40(4), 1257-1266.
- Elvik, R. (2008). A survey of operational definitions of hazardous road locations in some European countries. *Accident Analysis & Prevention*, 40(6), 1830-1835. doi: 10.1016/j.aap.2008.08.001
- Erdogan, S., Yilmaz, I., Baybura, T., & Gullu, M. (2008). Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar. *Accident Analysis & Prevention*, 40(1), 174-181.

- Flahaut, B. t., Mouchart, M., Martin, E. S., & Thomas, I. (2003). The local spatial autocorrelation and the kernel method for identifying black zones: a comparative approach. *Accident Analysis & Prevention*, 35(6), 991-1004.
- GEOMONT, L. A. g. m. (2011). *Projet pilote de diagnostic et plan d'action de sécurité routière*. Ministère des Transports du Québec (MTQ).
- Geurts, K., & Wets, G. (2003). *Black Spot Analysis: A literature Review*. (Hasselt University).
- Goldenbeld, C., & van Schagen, I. (2007). The credibility of speed limits on 80 km/h rural roads: The effects of road and person(ality) characteristics. *Accident Analysis & Prevention*, 39(6), 1121-1130. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2007.02.012>
- Han, J., & Kamber, M. (2006). *Data Mining - Concepts and Techniques*.
- Hauer, E. (2001). Overdispersion in modelling accidents on road sections and in Empirical Bayes estimation. *Accident Analysis & Prevention*, 33(6), 799-808.
- Hauer, E. (2009). Speed and safety. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2103(1), 10-17.
- Hauer, E., Harwood, D. W., Council, F. M., & Griffith, M. S. (2002a). Estimating safety by the empirical Bayes method: a tutorial. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1784(1), 126-131.
- Hauer, E., Harwood, D. W., Council, F. M., & Griffith, M. S. (2002b). Estimating safety by the empirical Bayes method: a tutorial. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1784(-1), 126-131.
- Hauer, E., Ng, J., & Lovell, J. (1988). *Estimation of safety at signalized intersections (with discussion and closure)*.
- Kanungo, T., Mount, D. M., Netanyahu, N. S., Piatko, C. D., Silverman, R., & Wu, A. Y. (2002). An efficient k-means clustering algorithm: Analysis and implementation. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 24(7), 881-892.
- Karlaftis, M. G., & Tarko, A. P. (1998). Heterogeneity considerations in accident modeling. *Accident Analysis & Prevention*, 30(4), 425-433. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0001-4575\(97\)00122-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0001-4575(97)00122-X)
- Kashani, A. T., & Mohaymany, A. S. (2011). Analysis of the traffic injury severity on two-lane, two-way rural roads based on classification tree models. *Safety Science*, 49(10), 1314-1320. doi: 10.1016/j.ssci.2011.04.019
- Klein, L. A., Mills, M. K., & Gibson, D. R. (2006). *Traffic Detector Handbook: -Volume II*.
- Kmet, L., & Macarthur, C. (2006). Urban–rural differences in motor vehicle crash fatality and hospitalization rates among children and youth. *Accident Analysis & Prevention*, 38(1), 122-127. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2005.07.007>
- McCullagh, P. (1983). Quasi-likelihood functions. *The Annals of Statistics* 59-67.
- Miranda-Moreno (2011). [Network screening methods (hotspot identification) - Communication personne].
- Miranda-Moreno (2012). [Complementary notes: Statistical models for accident data].

- Miranda-Moreno, & Fu, L. (2006). A comparative study of alternative model structures and criteria for ranking locations for safety improvements. *Networks and Spatial Economics*, 6(2), 97-110.
- Miranda-Moreno, Fu, L., Saccomanno, F. F., & Labbe, A. (2005). Alternative risk models for ranking locations for safety improvement. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1908(1), 1-8.
- Miranda-Moreno, Fu, L., Ukkusuri, S., & Lord, D. (2009). How to Incorporate Accident Severity and Vehicle Occupancy into the Hot Spot Identification Process? *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2102(-1), 53-60.
- Miranda-Moreno, Labbe, A., & Fu, L. (2007). Bayesian multiple testing procedures for hotspot identification. *Accident Analysis & Prevention*, 39(6), 1192-1201. doi: 10.1016/j.aap.2007.03.008
- Mohamed, M. G., Saunier, N., Miranda-Moreno, L. F., & Ukkusuri, S. V. (2013). A clustering regression approach: A comprehensive injury severity analysis of pedestrian–vehicle crashes in New York, US and Montreal, Canada. *Safety Science*, 54(0), 27-37. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2012.11.001>
- Montella, A. (2010). A comparative analysis of hotspot identification methods. *Accident Analysis & Prevention*, 42(2), 571-581. doi: 10.1016/j.aap.2009.09.025
- Moons, E., Brijs, T., & Wets, G. (2008). Hot spot analysis: Improving a local indicator of spatial association for application in traffic safety. *Computational Science and Its Applications–ICCSA 2008* 221-231.
- MTQ. (2000). *Plan de transport de l'Abitibi-Témiscamingue*. Ministère des Transport de Québec.
- MTQ. (2001). *Vers un plan de transport - Étude réalisée dans le cadre de l'élaboration du plan de transport du Bas-Saint-Laurent*. Direction du Bas-Saint-Laurent–Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine.
- MTQ. (2014). Réseau routier. Tiré de http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/partenaires/municipalites/reseau_routier
- Nowakowska, M. (2012). Road traffic accident patterns: a conceptual grouping approach to evaluate crash clusters. *Archives of Transport*, 24(1), 73-98.
- Pai, C.-W., & Saleh, W. (2007). An analysis of motorcyclist injury severity under various traffic control measures at three-legged junctions in the UK. *Safety Science*, 45(8), 832-847.
- Persaud, & Lyon. (2007). Empirical Bayes before–after safety studies: Lessons learned from two decades of experience and future directions. *Accident Analysis & Prevention*, 39(3), 546-555. doi: 10.1016/j.aap.2006.09.009
- Persaud, N., Coleman, E., Zwolakowski, D., Lauwers, B., & Cass, D. (2012). Nonuse of bicycle helmets and risk of fatal head injury: a proportional mortality, case–control study. *Canadian Medical Association Journal*, 184(17), E921-E923.
- PIARC. (2003). *Road Safety Manual (World Road Association)* (vol. 1): Route Market.
- Powers, M., & Carson, J. L. (2004). *Before-after crash analysis: a primer for using the Empirical Bayes method*. Department of Civil Engineering, Montana State University-Bozeman.

- Québec, T. (2000). *Bulletin d'information technique*. Québec, Canada:
- Quiros, L. S., Barrett. (2003). Rural Road Links: A Review on Current Research Projects & Initiatives Aimed at Reducing Vehicle Crash Fatalities on Rural Roads. *SafeTrec*.
- Roess, R. P., Prassas, E. S., & McShane, W. R. (2004). *Traffic engineering*: Prentice Hall.
- SAAQ. (2014). Guide de rédaction du rapport d'accident de véhicules routiers.
- Saunier, N. (2011). *Investigating Collision factors by mining microscopic data of vehicle conflicts and collisions*. (École Polytechnique de Montréal).
- Saunier, N. (2012). Devis de recherche - Diagnostic et plan d'action de sécurité routière en milieu municipal MTQ.
- Saunier, N., Miranda-Moreno, L., Cloutier, M. S., Rondier, P., Soto, F., Dussault, G., et al. (2014). *Projet pilote de diagnostic et plan d'action de sécurité routière en milieu municipal*. Polytechnique Montréal et Institut national de la recherche scientifique.
- Saunier, N., & Sayed, T. (2007). Automated analysis of road safety with video data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2019(1), 57-64.
- Singh, K., Malik, D., & Sharma, N. (2011). Evolving limitations in K-means algorithm in data mining and their removal. *International Journal of Computational Engineering & Management*, 12 105-109.
- Sorensen, M., & Elvik, R. (2007). *Black Spot Management and Safety Analysis of Road Networks*.
- Souleyrette, R. R. (2010). *Safety Analysis of Low-Volume Rural Roads in Iowa*. Institute for Transportation, Iowa State University.
- Statistique Canada. (2001). *Bulletin d'analyse - Régions rurales et petites villes au Canada*.
- Statistique Canada. (2014). Recensement de 2011. Tiré de <http://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/index-fra.cfm>
- Steenberghen, T., Dufays, T., Thomas, I., & Flahaut, B. (2004). Intra-urban location and clustering of road accidents using GIS: a Belgian example. *International Journal of Geographical Information Science*, 18(2), 169-181.
- Wilde, G. J. (1989). Accident countermeasures and behavioural compensation: The position of risk homeostasis theory. *Journal of Occupational Accidents*, 10(4), 267-292.
- Wood, D. P., & Simms, C. K. (2002). Car size and injury risk: a model for injury risk in frontal collisions. *Accident Analysis & Prevention*, 34(1), 93-99.

ANNEXES

Annexe 1: Variables descriptives des accidents disponibles

Tableau A. 1: Variables descriptives des accidents disponibles

Nom de la variable	Description	Variable conservée ou supprimée
IDUevenement	Identifiant unique de l'accident	Conservée
Shape	Champ automatique dans ArcMap (type d'entité de la couche)	Conservée
VAL_RTSS_ROUTE	Route	Conservée
VAL_RTSS_TRONCON	Tronçon	Conservée
VAL_RTSS_SECTION	Section	Conservée
VAL_RTSS_SOUSSEC	Sous-section	Conservée
VAL_CHANG	Chainage	Conservée
DAT_LOCLS	Date de localisation	Conservée
COD_TYPE_AUTRT_RESPN	Code de type autre réponse	Supprimée
DES_TYPE_AUTRT_RESPN	Description du type autre réponse	Conservée
IND_RES_MTI	Carrefour MTQ (Oui/Non)	Conservée
COD_TYPE_PRECS_LOCLS	Code du type de précision de la localisation	Supprimée
DES_TYPE_PRECS_LOCLS	Description du type de précision de la localisation	Conservée
COD_TYPE_SOURC_LOCLS	Code du type de source pour la localisation	Supprimée
DES_TYPE_SOURC_LOCLS	Description du type de source pour la localisation	Conservée
NOM_MUNCP	Nom de la municipalité	Conservée
COD_MUNCP	Code de la municipalité	Supprimée
NUM_CRPQ	Numéro du CRPQ	Supprimée
VAL_NUMR_ROUTE	Valeur du numéro de route	Supprimée

Tableau A.1: Variables descriptives des accidents disponibles (suite)

Nom de la variable	Description	Variable conservée ou supprimée
ADR_NUMR_IMMBL	Adresse de l'immeuble	Supprimée
VAL_NUMR_BORNE	Valeur numérique de la borne	Supprimée
ADR_NOM_VOIE	Nom de la voie	Supprimée
NOM_VOIE_INTSC	Nom de la voie à l'intersection	Supprimée
VAL_AUTRE_IDENT_REPR	Valeur autre identifiant unique	Supprimée
VAL_DISTN_REPR	Valeur distance reproduit	Supprimée
COD_TYPE_DIRECT	Code du type de direction NSEO	Supprimée
DES_TYPE_DIRECT	Description du type de direction (nord. sud. est. ouest)	Supprimée
VAL_VITS_AUTRS	Valeur de la vitesse autorisée	Conservée
VAL_NUMR_MICRF_1	Val du numéro de microfiche	Supprimée
IND_RAPPR_NUMRS_UTILR	Indique si le rapport numérique a été utilisé (Oui/Non)	Supprimée
DAT_ACCDN	Date de l'accident	Conservée
NBR_VEHCL_IMPLQ_RAPPR	Nombre de véhicule impliqué dans le rapport	Conservée
COD_TYPE_ECLRM	Code du type d'éclairage	Supprimée
DES_TYPE_ECLRM	Description du type d'éclairage	Conservée
COD_TYPE_GRAVT	Code du type de gravité	Supprimée
DES_TYPE_GRAVT	Description du type de gravité	Conservée
HRE_ACCDN	Heure de l'accident	Conservée
COD_VEHCL_N1	Code du type de véhicule no1	Supprimée
DES_VEHCL_N1	Description du type de véhicule no1	Conservée
COD_VEHCL_N2	Code du type de véhicule no2	Supprimée

Tableau A.1: Variables descriptives des accidents disponibles (suite)

Nom de la variable	Description	Variable conservée ou supprimée
DES_VEHCL_N2	Description du type de véhicule no2	Conservée
COD_GENRE_ACCDN	Code du genre d'accident	Supprimée
DES_GENRE_ACCDN	Description du genre d'accident	Conservée
COD_ETAT_SURFC_CONVR	Code de l'état de la surface	Supprimée
DES_ETAT_SURFC_CONVR	Description de l'état de la surface	Conservée
COD_ETAT_METEO_CONVR	Code de l'état de la météo	Supprimée
DES_ETAT_METEO_CONVR	Description de l'état de la météo	Conservée
COD_TYPE_IMPCT	Code du type d'impacte	Supprimée
DES_TYPE_IMPCT	Description du type d'impact	Conservée
COD_SENS_VEHCL_IMPCT_N1	Code du sens de circulation du véhicule no1	Supprimée
DES_SENS_VEHCL_IMPCT_N1	Description du sens de circulation du véhicule no1	Supprimée
COD_SENS_VEHCL_IMPCT_N2	Code du sens de circulation du véhicule no2	Supprimée
DES_SENS_VEHCL_IMPCT_N2	Description du sens de circulation du véhicule no2	Supprimée
COD_MOUVM_VEHCL_N1	Code du mouvement du véhicule no1	Supprimée
DES_MOUVM_VEHCL_N1	Description du mouvement du véhicule no1	Supprimée
DES_MOUVM_VEHCL_N2	Description du mouvement du véhicule no2 (le champ pour le code se trouve plus loin)	Supprimée
COD_TYPE_ENVRN	Code du type d'environnement	Supprimée
DES_TYPE_ENVRN	Description du type d'environnement	Supprimée
COD_CATGR_ROUTE	Code de la catégorie de route	Supprimée
DES_CATGR_ROUTE	Description de la catégorie de route	Supprimée

Tableau A.1: Variables descriptives des accidents disponibles (suite)

Nom de la variable	Description	Variable conservée ou supprimée
COD_TYPE_LOCLS_ACCDN	Code du type de localisation de l'accident	Supprimée
DES_TYPE_LOCLS_ACCDN	Description du type de localisation de l'accident	Supprimée
COD_ETAT_CHAS_CONVR	Code de l'état de la chaussée	Supprimée
DES_ETAT_CHAS_CONVR	Description de l'état de la chaussée	Conservée
COD_TYPE_VISBL_CONVR_N1	Code du type de visibilité du véhicule no1	Supprimée
DES_TYPE_VISBL_CONVR_N1	Description du type de visibilité du véhicule no1	Supprimée
COD_TYPE_VISBL_CONVR_N2	Code du type de visibilité du véhicule no2	Supprimée
DES_TYPE_VISBL_CONVR_N2	Description du type de visibilité du véhicule no2	Supprimée
COD_MOUVM_PIETN_CONVR_P1	Description inconnue	Supprimée
DES_MOUVM_PIETN_CONVR_P1	Description inconnue	Supprimée
COD_MOUVM_PIETN_CONVR_P2	Description inconnue	Supprimée
DES_MOUVM_PIETN_CONVR_P2	Description inconnue	Supprimée
IND_DELIT_FUITE	Indique si c'est un délit de fuite ou non	Conservée
COD_PROVN_ETAT_N1	Code de Province ou de l'État pour le véhicule no1	Supprimée
DES_PROVN_ETAT_N1	Nom Province ou de l'État pour le véhicule no1	Conservée
COD_PROVN_ETAT_N2	Code de Province ou de l'État pour le véhicule no2	Supprimée
DES_PROVN_ETAT_N2	Nom Province ou de l'État pour le véhicule no2	Conservée
VAL_CP_COURT_N1	Code postal court (3) du véhicule no1	Conservée
VAL_CP_COURT_N2	Code postal court (3) du véhicule no2	Conservée
VAL_AGE_CONDC_N1	Âge du conducteur du véhicule no1	Conservée

Tableau A.1: Variables descriptives des accidents disponibles (suite)

Nom de la variable	Description	Variable conservée ou supprimée
VAL_AGE_CONDC_N2	Âge du conducteur du véhicule no2	Conservée
COD_FACTEUR_ACCDN_CONVR_PR1	Code du facteur de l'accident du véhicule no1	Supprimée
DES_FACTEUR_ACCDN_CONVR_PR1	Description du facteur de l'accident du véhicule no1	Conservée
COD_FACTEUR_ACCDN_CONVR_PR2	Code du facteur de l'accident du véhicule no2	Supprimée
DES_FACTEUR_ACCDN_CONVR_PR2	Description du facteur de l'accident du véhicule no2	Conservée
COD_TYPE_SIGNS_N1	Code de la signalisation pour le véhicule no1	Supprimée
DES_TYPE_SIGNS_N1	Description de la signalisation pour le véhicule no1	Supprimée
COD_TYPE_SIGNS_N2	Code de la signalisation pour le véhicule no2	Supprimée
DES_TYPE_SIGNS_N2	Description de la signalisation pour le véhicule no2	Supprimée
NBR_VICTM_BLES_GRAVE	Nombre de blessé grave	Conservée
NBR_VICTM_BLES_LEGER	Nombre de blessé léger	Conservée
NBR_VICTM_DECD	Nombre de personne décédé	Conservée
COD_TYPE_ASPCT_CHAS_CONV R	Code de l'aspect de la chaussée	Supprimée
DES_TYPE_ASPCT_CHAS_CONV R	Description de l'aspect de la chaussée	Conservée
COD_TYPE_NATR_CHAS	Code de la nature de la chaussée	Supprimée
DES_TYPE_NATR_CHAS	Description de la nature de la chaussée	Conservée
COD_TYPE_EXPRN_CONDC_N1	Code du nombre d'année d'expérience du conducteur no1	Supprimée
DES_TYPE_EXPRN_CONDC_N1	Description du nombre d'année d'expérience du conducteur no1	Supprimée

Tableau A.1: Variables descriptives des accidents disponibles (suite)

Nom de la variable	Description	Variable conservée ou supprimée
COD_TYPE_EXPRN_CONDC_N2	Code du nombre d'année d'expérience du conducteur no2	Supprimée
DES_TYPE_EXPRN_CONDC_N2	Description du nombre d'année d'expérience du conducteur no2	Supprimée
COD_MOUVM_VEHCL_N2	Code du mouvement du véhicule no2	Supprimée
Annee	Année de l'accident (entre 2006 et 2011)	Conservée
IDTroncon	Identifiant unique du tronçon sur lequel l'accident est associé	Conservée
ID_IntersectionPProche	Identifiant unique de l'intersection la plus proche le long du réseau routier	Conservée
Dist_InterstPProche	Distance réticulaire en mètre à l'intersection la plus proche	Conservée
X_WGS84	Coordonnée X du point en WGS 1984 (degré décimal)	Conservée
Y_WGS84	Coordonnée Y du point en WGS 1984 (degré décimal)	Conservée
X_Lambert	Coordonnée X du point en WGS 1984 (Conique conforme Lambert)	Conservée
Y_Lambert	Coordonnée Y du point en WGS 1984 (Conique conforme Lambert)	Conservée
ID_CarrefourPProche	Identifiant unique du carrefour le plus proche le long du réseau routier	Conservée
MuniMTQ	Indique si l'accident a eu lieu sur le réseau du MTQ, sur le réseau municipale ou à moins de 20 mètres d'un croisement municipale / MTQ.	Conservée

Annexe 2: Variables descriptives des carrefours

Tableau A. 2: Variables descriptives des carrefours

Nom de la variable	Description
OBJECTID_1	Champ automatique dans ArcMap (identifiant unique dans la table)
Shape	Champ automatique dans ArcMap (type d'entité de la couche)
ID_Carrefour	Identifiant unique du carrefour
Nbr_Accident_50m	Nombre d'accident unique dans un rayon de 50 mètres du centroïde du polygone (les accidents sont comptabilisés qu'une seule fois)
X_WGS84	Coordonnée X du centroïde du polygone en WGS 1984 (degré décimal)
Y_WGS84	Coordonnée Y du centroïde du polygone en WGS 1984 (degré décimal)
Shape_Length	Champ automatique dans ArcMap (longueur de l'entité)
Shape_Area	Champ automatique dans ArcMap (superficie de l'entité)
X_CCLambert	Coordonnée X du centroïde du polygone en Conique conforme de Lambert (mètres)
Y_CCLambert	Coordonnée Y du centroïde du polygone en Conique conforme de Lambert (mètres)
SDRIDU	Identifiant unique de la municipalité
SDRNOM	Nom de la municipalité
SDRGENRE	Code du genre de municipalité
SDRDescription	Description du code de municipalité
ID_OccSol	Identifiant unique de l'affectation du territoire ou le carrefour est localisé (provenant de la couche Affectation de la MRC)
Desc_OccSol	Description de l'affectation du territoire ou le carrefour est localisé (provenant de la couche Affectation de la MRC)
DistKM_CV_Victo	Distance en km vers le centre-ville de Victoriaville (Notre-Dame Est / Perreault)
DistKM_CV_Warwick	Distance en km vers le centre-ville de Warwick (Kirouac / Hôtel-de-Ville)
ComptageAuto_2012	Comptage automobile à certaines intersections de Victoriaville en 2012
ComptagePieton_2012	Comptage piétonnier à certaines intersections de Victoriaville en 2012
MuniMTQ	Indique si les tronçons qui affluent vers le carrefour sont de juridiction du MTQ, du municipale ou des deux
Classif1	Classification des tronçons qui affluent vers le carrefour, en ordre décroissant. De 1 tronçon à une possibilité de 12.
Classif2	
Classif3	
Classif4	
Classif5	
Classif6	
Classif7	
Classif8	

Tableau A. 2 : Variables descriptives des carrefours (suite)

Nom de la variable	Description
Classif9	
Classif10	
Classif11	
Classif12	
Nbr_Approche	Indique le nombre d'approches à ce carrefour
Nbr_Troncon	Indique le nombre de tronçons qui affluent à ce carrefour
Average_Z	Élévation moyenne pour le carrefour (calculé à partir des intersections)

Annexe 3: Variables descriptives des tronçons

Tableau A. 3: Variables descriptives des tronçons

Nom de la variable	Description	
OBJECTID	Champ automatique dans ArcMap (identifiant unique dans la table)	
Shape	Champ automatique dans ArcMap (type d'entité de la couche)	
IDTroncon	Identifiant unique du tronçon	
IDIntersect1	Identifiant unique de l'intersection de départ du tronçon	
IDIntersect2	Identifiant unique de l'intersection de fin du tronçon	
Nbr_Accident_10m	Nombre d'accidents dans un rayon de 10 mètres du tronçon (un accident peut être comptabilisé plusieurs fois, notamment au bout des tronçons)	
Nbr_Voie	Nombre de voies du tronçon (provenant du réseau de la géobase canadienne)	
Vitesse	Vitesse sur le tronçon (provenant d'Adresses Québec)	
Vitesse_Multi	Indique qu'il y a plusieurs vitesses sur le tronçon	1-Une seule vitesse 9-Deux vitesses
Revetement	Pourcentage approximatif du tronçon qui est revêtu (provenant du réseau de la géobase canadienne. Google Maps et Streets View)	100 = 100 % revêtu; 0 = non revêtu
Densite_AD2011	Densité de population traversé et/ou longé par le tronçon (provenant des Aires de Diffusions de 2012 de Statistique Canada)	
Shape_Length	Longueur du tronçon en mètre	
Code_Camion	Code classifiant les tronçons selon les informations sur le camionnage	
Desc_Camion	Description de l'information sur le camionnage (route permise. restreinte. interdite. sans information. etc.) provenant du MTQ	
ID_DJMA	Identifiant unique du MTQ sur les comptages	
Comptage_Recent	Indique la dernière année de comptage disponible	
DJMA_Recent	Débit journalier moyen annuel de la dernière année disponible	
DJMA_2011	Débit journalier moyen annuel en 2011 (si disponible)	
DJMA_2010	Débit journalier moyen annuel en 2010 (si disponible)	
DJMA_2009	Débit journalier moyen annuel en 2009 (si disponible)	
DJMA_2008	Débit journalier moyen annuel en 2008 (si disponible)	
DJMA_2007	Débit journalier moyen annuel en 2007 (si disponible)	
DJMA_2006	Débit journalier moyen annuel en 2006 (si disponible)	
DJMA_2005	Débit journalier moyen annuel en 2005 (si disponible)	
DJMA_2004	Débit journalier moyen annuel en 2004 (si disponible)	
DJMA_2003	Débit journalier moyen annuel en 2003 (si disponible)	
DJMA_2002	Débit journalier moyen annuel en 2002 (si disponible)	
Heure_30°	La 30e heure la plus achalandée observée durant l'année	
DJMH	Débit journalier moyen hivernal (décembre. janvier. février et mars)	

Tableau A. 3 : Variables descriptives des tronçons (suite)

Nom de la variable	Description
DJME	Débit journalier moyen d'été (juin, juillet, août et septembre)
Annee_VehiLourd	Indique la dernière année de comptage de véhicule lourd disponible
Vehi_Lourd	Débit des véhicules lourds
MuniMTQ	Indique si le tronçon est de juridiction du MTQ ou municipale
OccSol1	Affectation du territoire principale traversé et/ou longé par le tronçon (provenant de la couche Affectation de la MRC)
OccSol1_Pourc	Indique le pourcentage de l'occupation principale
OccSol 2	Affectation du territoire secondaire traversé et/ou longé par le tronçon (provenant de la couche Affectation de la MRC)
OccSol2_Pourc	Indique le pourcentage de l'occupation secondaire
Odonyme	Indique l'odonyme du tronçon (Pour l'odonyme officiel du tronçon, utilisez les informations d'Adresses Québec)
Z_Min	Élévation minimum sur le tronçon
Z_Max	Élévation maximum sur le tronçon
Z_Mean	Élévation moyenne sur le tronçon
Min_Slope	Pente minimum sur le tronçon
Max_Slope	Pente maximum sur le tronçon
Avg_Slope	Pente moyenne sur le tronçon
DistKM_CV_Victo	Distance moyenne en km vers le centre-ville de Victoriaville (Notre-Dame Est / Perreault)
DistKM_CV_Warwick	Distance moyenne en km vers le centre-ville de Warwick (Kirouac / Hôtel-de-Ville)
ID_Carrefour1	Identifiant unique du carrefour du départ du tronçon
ID_Carrefour2	Identifiant unique du carrefour de la fin du tronçon
Classif1	Type de route (autoroute, rte à no, artère, collectrice, locale) provenant du fichier d'Adresse Québec
Classif2	Classification hiérarchique des tronçons selon le statut MTQ (autoroute, nationale, régionale, Collectrice) ou Municipale (locale 1, locale 2, local 3, non MTQ)
Classif3	Classification hybride entre la classification fonctionnelle du MTQ et cartographique

Annexe 4: Regroupement des variables des accidents

Tableau A. 4: Regroupement de la variable état de la chaussée

Catégories	Catégories simplifiées
Mouillée Accumulation d'eau Boueuse	Mouillée
Enneigée Glacée Neige durcie Gadoue/neige fondante	Neige
Sèche	Sèche
Autre Sable/gravier Non précisée	Autre

Tableau A. 5: Regroupement de la variable origine des conducteurs

Catégories simplifiées	Description
Tous MRC	Tous les conducteurs viennent de la MRC à l'étude
Au moins un MRC	Au moins un conducteur vient de la MRC à l'étude
Hors MRC	Aucun conducteur ne vient de la MRC à l'étude
Non précisée	Les informations sont manquantes ou incomplètes

Tableau A. 6: Regroupement de la variable code d'impact

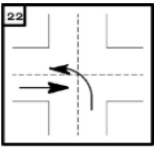
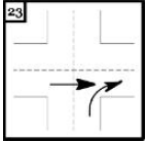
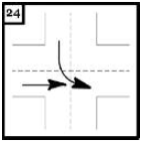
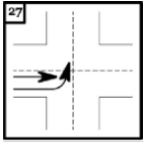

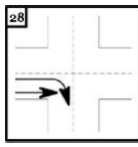
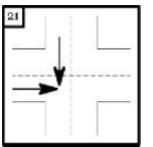
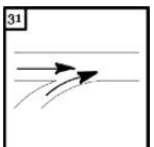
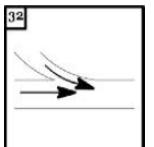
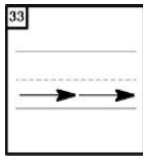
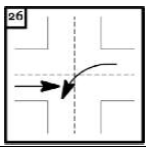
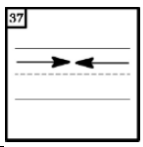
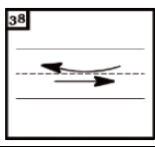
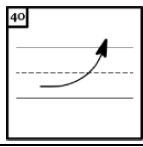
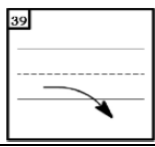
Catégories simplifiées	Choix de codes d'impacts				
Latéral	22	23	24	27	25
					
	28	21	31	32	
					
Arrière	33				
					
Gauche opposant	26				
					
Frontal	37	38			
					
Véhicule seul	40	39			
					
Autres. un seul véhicule	88				
Description	Pour tous les accidents impliquant un seul véhicule et dont le code d'impact que autre que 39 ou 40.				

Tableau A. 6: Regroupement de la variable code d'impact (suite)

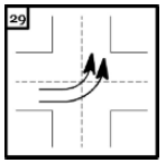
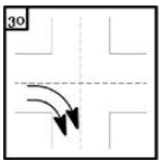
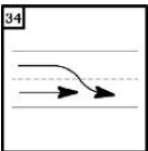
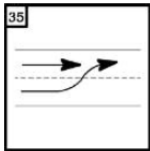
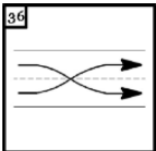
Catégories simplifiées	Choix de codes d'impacts				
Autres. deux véhicules	99				
Description	Lorsqu'un des deux véhicules impliqués dans l'accident est un véhicule stationné. Pour tous les accidents impliquant plus d'un véhicule et dont le code d'impact est différent des codes 21 à 38.				
Non précisée	Information non disponible				
Virages	29	30			
					
Changement de voie	34	35	36		
					

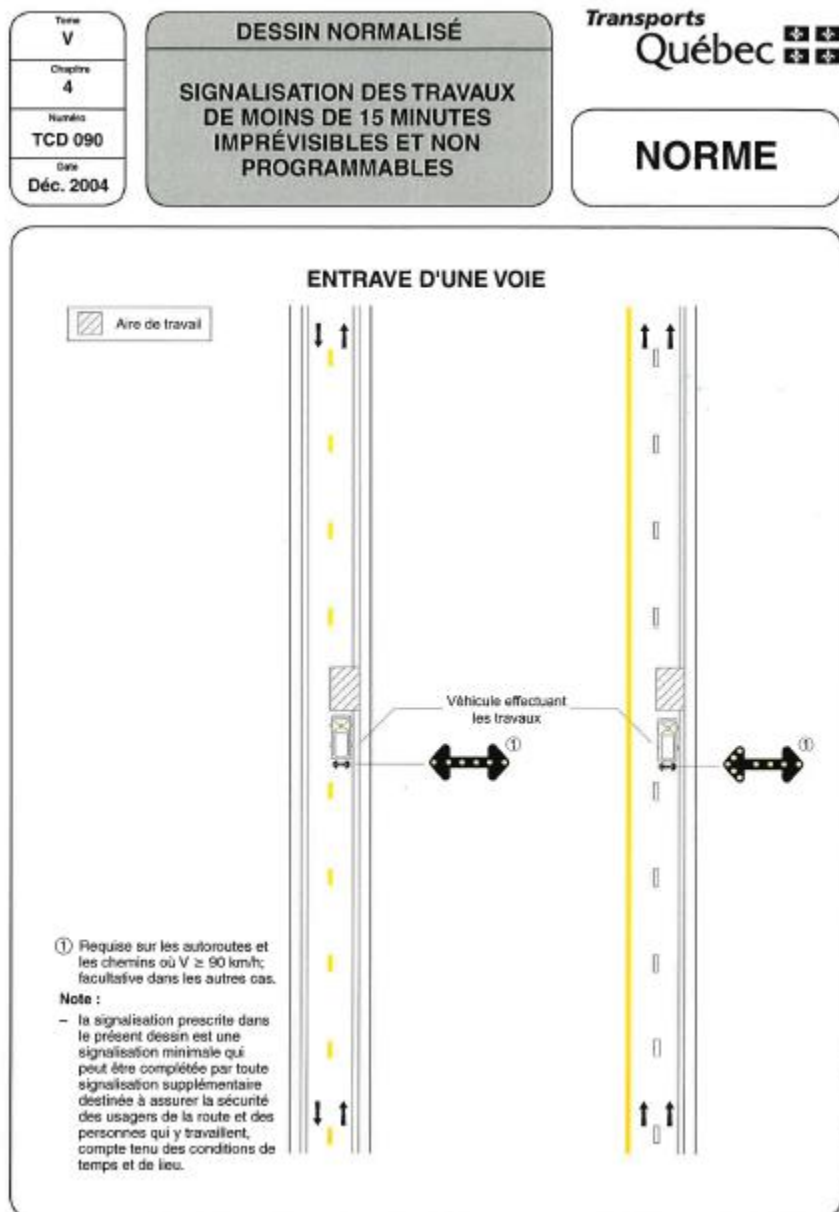
Tableau A. 7: Regroupement de la variable facteur d'accident

Catégories	Catégories simplifiées
A grillé un feu rouge Arr./tour./dep.s sig Non-respect d'un arrêt obligatoire Mauvais côté Arrêtait Tournait Dépassait sans signaler Virait dans un endroit interdit Suivait de trop près Conduisait du mauvais côté de la voie Circulait contrairement au sens unique Reculait illégalement N'a pas cédé le passage Stationné incorrectement ou dans un Endroit dangereux Cellulaire Dépassement interdit Dépassement dangereux A dépassé/croisé un autobus scolaire	Manœuvre/Conduite illégales
Conditions météorologiques Visibilité Animaux sur la route	Conditions extérieures
Excès de vitesse Faisait une course Vitesse Conduite imprudente	Vitesse
Inattention Distraction Agressif Comportement	Comportement
Mauvais état de la chaussée Tracé de la route inadéquat Signalisation inadéquate Éclairage insuffisant Obstacle temporaire Mauvais entretien Infrastructure-rien.	Infrastructure
Alcool Drogue Malaise soudain État de l'utilisateur Fatigue	Facultés affaiblies

Annexe 5: Corrélation de variables des accidents

Attribut	Cat. Route	Vit. Route	Affect.	Saison	Jour. Ouvr.	Veh. Impl.	Gravité	Période	Moto	Camion	Bicy.	Tract. R.	Genre Acc.	État chau.	Temps	Code imp.	Cond. Ext.	Infra.	F. Affai.	Vitesse	Comp.	Man. Con.	Cond. Âgé.	Cond. Je.	MRC	Prox. Carr.	Réseau	
Cat. Route	1																											
Vit. Route	0.1051	1																										
Affect.	0.0681	0.3783	1																									
Saison	0.0000	0.0001	0.0000	1																								
Jour. Ouvr.	0.0008	0.0029	0.0027	0.0011	1																							
Veh. Impl.	0.0495	0.1613	0.1816	0.0000	0.0076	1																						
Gravité	0.0031	0.0190	0.0170	0.0006	0.0001	0.0145	1																					
Période	0.0083	0.0159	0.0191	0.0004	0.0047	0.0549	0.0010	1																				
Moto	0.0008	0.0033	0.0033	0.0048	0.0021	0.0044	0.0306	0.0002	1																			
Camion	0.0005	0.0000	0.0002	0.0000	0.0033	0.0005	0.0002	0.0014	0.0020	1																		
Bicy.	0.0002	0.0015	0.0006	0.0050	0.0007	0.0034	0.0100	0.0000	0.0000	0.0002	1																	
Tract. R.	0.0013	0.0004	0.0001	0.0001	0.0005	0.0011	0.0002	0.0018	0.0001	0.0002	0.0003	1																
Genre Acc.	0.0400	0.1161	0.1302	0.0002	0.0028	0.4509	0.0016	0.0531	0.0000	0.0002	0.0677	0.0002	1															
État chau.	0.0001	0.0003	0.0001	0.0235	0.0000	0.0000	0.0010	0.0001	0.0032	0.0001	0.0037	0.0000	0.0023	1														
Temps	0.0003	0.0006	0.0012	0.0094	0.0005	0.0000	0.0002	0.0007	0.0039	0.0000	0.0032	0.0000	0.0023	0.2403	1													
Code imp.	0.0069	0.0237	0.0189	0.0002	0.0011	0.0351	0.0490	0.0008	0.0022	0.0006	0.0037	0.0006	0.0031	0.0013	0.0025	1												
Cond. Ext.	0.0158	0.0458	0.0495	0.0049	0.0004	0.0563	0.0034	0.0058	0.0000	0.0000	0.0008	0.0010	0.0820	0.0072	0.0208	0.0038	1											
Infra.	0.0119	0.0268	0.0349	0.0018	0.0001	0.0530	0.0002	0.0123	0.0006	0.0000	0.0005	0.0006	0.0741	0.0002	0.0000	0.0001	0.0006	0.0008	1									
F. Affai.	0.0014	0.0070	0.0056	0.0003	0.0046	0.0224	0.0013	0.0140	0.0001	0.0001	0.0002	0.0000	0.0054	0.0009	0.0004	0.0023	0.0006	0.0008	0.0006	1								
Vitesse	0.0008	0.0005	0.0010	0.0000	0.0007	0.0055	0.0006	0.0009	0.0000	0.0003	0.0008	0.0006	0.0013	0.0006	0.0004	0.0005	0.0028	0.0042	0.0012	0.0006	1							
Comp.	0.0144	0.0292	0.0294	0.0009	0.0027	0.0540	0.0008	0.0165	0.0001	0.0005	0.0018	0.0000	0.0343	0.0036	0.0031	0.0066	0.0621	0.0171	0.0428	0.0071	0.0009	0.0006	0.0001	0.0005	0.0863	0.0129	1	
Man. Con.	0.0126	0.0186	0.0265	0.0002	0.0041	0.1060	0.0125	0.0200	0.0000	0.0000	0.0035	0.0001	0.0659	0.0000	0.0000	0.0189	0.0236	0.0200	0.0137	0.0342	0.0161	0.0026	0.0001	0.0005	0.0005	0.0863	0.0129	1
Cond. Âgé.	0.0022	0.0205	0.0173	0.0018	0.0009	0.0400	0.0285	0.0028	0.0014	0.0000	0.0011	0.0015	0.0164	0.0004	0.0025	0.0075	0.0182	0.0056	0.0001	0.0000	0.0012	0.0026	0.0001	0.0005	0.0005	0.0863	0.0129	1
Cond. Je.	0.0029	0.0042	0.0019	0.0001	0.0016	0.0105	0.0015	0.0078	0.0001	0.0018	0.0018	0.0038	0.0148	0.0000	0.0000	0.0000	0.0019	0.0021	0.0001	0.0067	0.0009	0.0006	0.0001	0.0005	0.0005	0.0863	0.0129	1
MRC	0.0017	0.0131	0.0175	0.0049	0.0019	0.0791	0.0129	0.0011	0.0004	0.0005	0.0154	0.0020	0.0227	0.0002	0.0004	0.0186	0.0191	0.0075	0.0000	0.0001	0.0005	0.0005	0.0001	0.0005	0.0005	0.0863	0.0129	1
Prox. Carr.	0.0000	0.0081	0.0001	0.0000	0.0002	0.0000	0.0029	0.0002	0.0000	0.0012	0.0000	0.0004	0.0001	0.0001	0.0004	0.0064	0.0007	0.0002	0.0000	0.0011	0.0001	0.0106	0.0024	0.0000	0.0019	0.0006	0.0068	1
Réseau	0.1355	0.1223	0.0396	0.0003	0.0015	0.0163	0.0114	0.0004	0.0007	0.0000	0.0003	0.0037	0.0238	0.0006	0.0000	0.0038	0.0132	0.0025	0.0000	0.0009	0.0043	0.0001	0.0033	0.0013	0.0006	0.0068	0.0068	1

Annexe 6: Planche de fermeture




Annexe 7: Formulaire de collecte de données

Formulaire A



POLYTECHNIQUE MONTREAL		Information	
Nom, Prénom:	Municipalité:		
Heure de début:	Qualité de la chaussée:	Bonne	Débris
Heure de fin:	Type d'intersection:	Mauvaise	Fissures
Date:		Croix (X)	Giratoire
		Type T	
		Type Y	
		Décalé	

















Caractéristiques des approches			
Nord		Sud	
<p>p1. Entrées ou sorties à 15m de l'intersection:</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>q1. Stationnement permis:</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Si oui, en tout temps:</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Spécifiez les heures, côtés et jours:</p> <p>Angle:</p> <p><input type="checkbox"/> Plus de 90°</p> <p><input type="checkbox"/> 90°</p> <p><input type="checkbox"/> Moins de 90°</p>	<p>a1. Nom de la route:</p> <p>b1. Contrôle de l'approche:</p> <p><input type="checkbox"/> Feu de circulation <input type="checkbox"/> Arrêt</p> <p><input type="checkbox"/> Aucun <input type="checkbox"/> Autre</p> <p>c1. Si feu de circulation:</p> <p>virage à gauche protégé:</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>d1. Nombre de voies total:</p> <p>e1. Largeur de l'approche:</p> <p>f1. Bale de virage à gauche:</p> <p>g1. Voie vir. à droite exclusive:</p> <p>h1. Traverse piétonne:</p> <p>i1. Marquage visible:</p> <p>j1. Sens Unique:</p> <p>k1. Passage pour piétons:</p> <p>l1. Approche pavée:</p> <p>m1. Éclairage:</p> <p>n1. Largeur d'écotement (Ouest):</p> <p>o1. Largeur d'écotement (Est):</p>	<p>p4. Entrées ou sorties à 15m de l'intersection:</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>q4. Stationnement permis:</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Si oui, en tout temps:</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Spécifiez les heures, côtés, et jours:</p> <p>Angle:</p> <p><input type="checkbox"/> Plus de 90°</p> <p><input type="checkbox"/> 90°</p> <p><input type="checkbox"/> Moins de 90°</p>	<p>a4. Nom de la route:</p> <p>b4. Contrôle de l'approche:</p> <p><input type="checkbox"/> Arrêt <input type="checkbox"/> Feu de circulation</p> <p><input type="checkbox"/> Aucun <input type="checkbox"/> Autre</p> <p>c4. Si feu de circulation:</p> <p>virage à gauche protégé:</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>d4. Nbr de voies total:</p> <p>e4. Largeur de l'approche:</p> <p>f4. Bale de virage à gauche:</p> <p>g4. Voie vir. à droite exclusive:</p> <p>h4. Traverse piétonne:</p> <p>i4. Marquage visible:</p> <p>j4. Sens Unique:</p> <p>k4. Passage pour piétons:</p> <p>l4. Approche pavée:</p> <p>m4. Éclairage:</p> <p>n4. Largeur d'écotement (Nord):</p> <p>o4. Largeur d'écotement (Sud):</p>
<p>Coordonnées GPS de l'intersection:</p>			
<p>West</p>			<p>Est</p>
<p>p3. Entrées ou sorties à 15m de l'intersection:</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>q3. Stationnement permis:</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Si oui, en tout temps:</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Spécifiez les heures, côtés, et jours:</p>	<p>a2. Nom de la route:</p> <p>b2. Contrôle de l'approche:</p> <p><input type="checkbox"/> Feu de circulation <input type="checkbox"/> Arrêt</p> <p><input type="checkbox"/> Aucun <input type="checkbox"/> Autre</p> <p>c2. Si feu de circulation:</p> <p>virage à gauche protégé:</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>d2. Nombre de voies total:</p> <p>e2. Largeur de l'approche:</p> <p>f2. Bale de virage à gauche:</p> <p>g2. Voie vir. à droite exclusive:</p> <p>h2. Traverse piétonne:</p> <p>i2. Marquage visible:</p> <p>j2. Sens Unique:</p> <p>k2. Passage pour piétons:</p> <p>l2. Approche pavée:</p> <p>m2. Éclairage:</p> <p>n2. Largeur d'écotement (Ouest):</p> <p>o2. Largeur d'écotement (Est):</p>	<p>p2. Entrées ou sorties à 15m de l'intersection:</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>q2. Stationnement permis:</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Si oui, en tout temps:</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Spécifiez les heures, côtés et jours:</p>	<p>a3. Nom de la route:</p> <p>b3. Contrôle de l'approche:</p> <p><input type="checkbox"/> Arrêt <input type="checkbox"/> Feu de circulation</p> <p><input type="checkbox"/> Aucun <input type="checkbox"/> Autre</p> <p>c3. Si feu de circulation:</p> <p>virage à gauche protégé:</p> <p><input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>d3. Nbr de voies total:</p> <p>e3. Largeur de l'approche:</p> <p>f3. Bale de virage à gauche:</p> <p>g3. Voie vir. à droite exclusive:</p> <p>h3. Traverse piétonne:</p> <p>i3. Marquage visible:</p> <p>j3. Sens Unique:</p> <p>k3. Passage pour piétons:</p> <p>l3. Approche pavée:</p> <p>m3. Éclairage:</p> <p>n3. Largeur d'écotement (Nord):</p> <p>o3. Largeur d'écotement (Sud):</p>
Sud			
Commentaires			

Formulaire B

 POLYTECHNIQUE MONTREAL	
1. Nom, Prénom:	
2. Date:	
3. Heure de début:	
4. Heure de fin:	
5. Qualité de la chaussée:	
6. Type de chaussée:	
7. Localisation exacte (GPS):	
8. Municipalité:	
9. Vitesse affichée:	
10. Nom du tronçon:	
11. Séparation de voies:	
12. Nombre de voies (deux sens):	
13. Longueur totale de la route en mètres (sans accotement):	
14. Accotement disponible	
15. Stationnement (utilisez le croquis ci-dessous)	
16. Marquage le long de la route:	
17. Marquage de ligne centrale:	
18. Sens unique:	
19. Piétons traversent la rue à des endroits non autorisés:	
20. Entrées ou sorties:	
21. Éclairage:	
22. La route a une pente:	
23. Troittement présent:	
24. La route a un fossé:	
25. Présence d'une traverse piétonne	
26. Si il ya une piste cyclable:	
27. Localisation GPS ou distance (mètres) à partir d'où on aperçoit la fin du tronçon (carrefour plus proche):	
28. Commentaires:	

Formulaire C

 POLYTECHNIQUE MONTREAL			
Nom, Prénom:		Véhicules légers (moins de 6,1m): Voitures et motos. Véhicules lourds (plus de 6,1m): Camions, trailer et bus. Veuillez compter les véhicules de cette manière:  Veuillez noter un "0" pour compter les cyclistes.	
Municipalité:			
Date:			
Heure de début:			
Heure de fin:			
Type d'intersection:			
<input type="checkbox"/> Croix (X)	<input type="checkbox"/> Décalé		
<input type="checkbox"/> Type T	<input type="checkbox"/> Type Y		

Véhicules légers		Véhicules lourds		Nom de la rue:		Véhicules légers		Véhicules lourds	
									
Nom de la rue:		Véhicules lourds		Véhicules légers		Véhicules lourds		Véhicules légers	
		Véhicules légers		Véhicules lourds		Véhicules légers			
Véhicules légers		Véhicules lourds		Véhicules légers		Véhicules lourds		Véhicules légers	
		Véhicules légers		Véhicules lourds		Véhicules légers			
Véhicules légers		Véhicules lourds		Véhicules légers		Véhicules lourds		Véhicules légers	
		Véhicules légers		Véhicules lourds		Véhicules légers			
Véhicules légers		Véhicules lourds		Véhicules légers		Véhicules lourds		Véhicules légers	
		Véhicules légers		Véhicules lourds		Véhicules légers			
Véhicules légers		Véhicules lourds		Véhicules légers		Véhicules lourds		Véhicules légers	
		Véhicules légers		Véhicules lourds		Véhicules légers			
Véhicules légers		Véhicules lourds		Véhicules légers		Véhicules lourds		Véhicules légers	
		Véhicules légers		Véhicules lourds		Véhicules légers			

Nom de la rue qui fait la prochaine intersection de cette approche:	
Commentaires	

Formulaire D



POLYTECHNIQUE
MONTREAL

Nom, Prénom:
Municipalité:
Date:
Heure de début:
Heure de fin:
Nom du tronçon:
Localisation GPS d'où le comptage est fait:

Véhicules légers (moins de 6,1m): Voitures et motos.
Véhicules lourds (plus de 6,1m): Camions, trailer et bus.
Veuillez compter les véhicules de cette manière:

Veuillez utiliser une colonne pour représenter une voie. Si vous avez besoin de plus d'espace, pressez une 2ème colonne et l'indiquer dans la section commentaires.

Nom de rue croisant le tronçon:					
↓			↑		
Véhicules légers:	Véhicules légers:	Véhicules légers:	Véhicules légers:	Véhicules légers:	Véhicules légers:
Véhicules lourds:	Véhicules lourds:	Véhicules lourds:	Véhicules lourds:	Véhicules lourds:	Véhicules lourds:
Cycliste	Cycliste	Cycliste	Cycliste	Cycliste	Cycliste
Nom de rue croisant le tronçon:					
←		Piétons		→	

Commentaires

Annexe 8: Corrélation entre attributs des sites

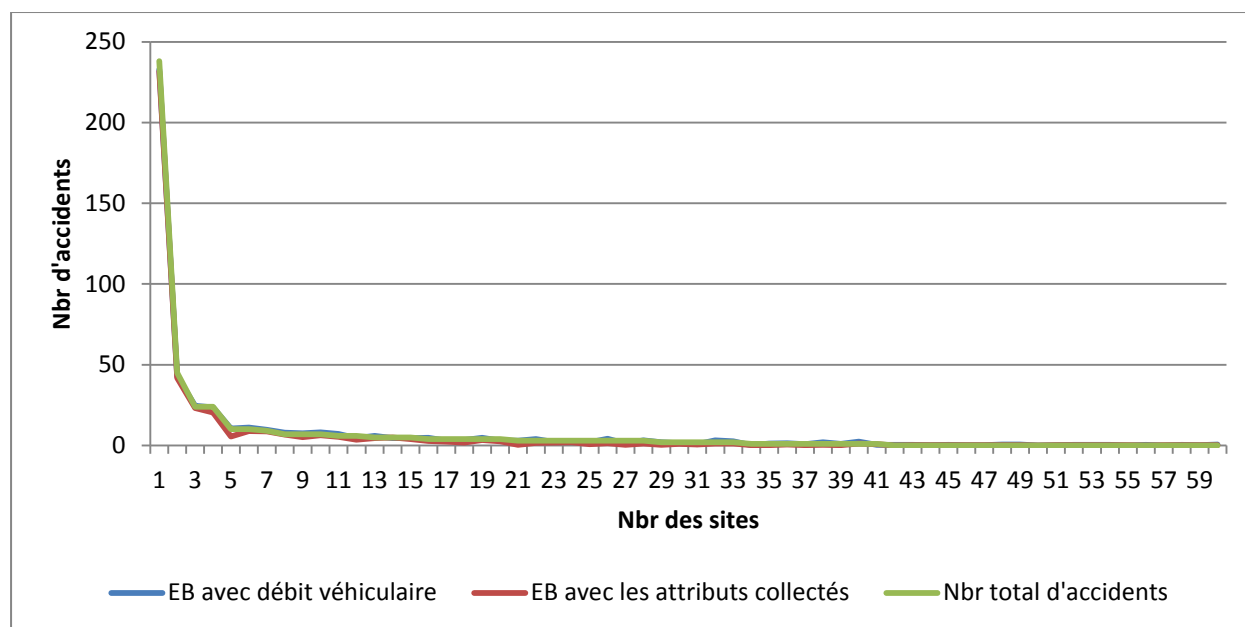
Attributs	Total Accidents	Voies	Vitesses	Pave	Densité	Peri. urbain	Agricole	Villegiature	Ilot destructuré	Distance CV Victo	Distance CV Warwick	Locale Urbaine	Locale rurale	Art. urbaine	Coll. Mun.	Acc.LGM
Total Accidents	1															
Voies	0.1665	1														
Vitesses	0.0354	0.0305	1													
Pave	0.0357	0.1364	0.1478	1												
Densité	0.0045	0.1179	0.3052	0.3697	1											
Perimetre urbain	0.0021	0.108	0.5252	0.4721	0.5367	1										
Agricole	0.0304	0.0677	0.7304	0.3097	0.3644	0.6603	1									
Villegiature	0.0143	0.048	0.0525	0.2253	0.1332	0.239	0.0738	1								
Ilot destructuré	0.0273	0.0834	0.0598	0.2251	0.2661	0.4976	0.1536	0.0556	1							
Distance CV Victo	0.0317	0.1728	0.3328	0.4422	0.594	0.5607	0.4196	0.3122	0.1725	1						
Distance CV Warwi	0.017	0.1061	0.1146	0.3692	0.2715	0.3305	0.227	0.143	0.1313	0.559	1					
Locale urbaine	0.1118	0.2083	0.7656	0.097	0.2102	0.3963	0.6371	0.0788	0.1205	0.2198	0.1038	1				
Locale rurale	0.0281	0.0426	0.8286	0.2207	0.313	0.5293	0.7711	0.0579	0.1012	0.3611	0.1769	0.7595	1			
Artère urbaine	0.1403	0.4297	0.0265	0.1355	0.1478	0.1291	0.0916	0.0402	0.0518	0.1831	0.0843	0.4834	0.0952	1		
Collectrice mun.	0.0235	0.0088	0.2734	0.0265	0.1036	0.0895	0.1438	0.0225	0.0195	0.0731	0.0149	0.2709	0.0533	0.0339	1	
Accidents LGM	0.2931	0.0643	0.1869	0.0316	0.0522	0.1116	0.18	0.0246	0.0423	0.0093	0.0001	0.223	0.1731	0.0936	0.0756	1

Attributs	Accs LGM	Voies	Carrefour décalé	Densité	Distance du CV Vido	Aret partout	Aret secondaire	Feu circulation	Groupe 7	Groupe 6	Groupe 5	Groupe 4	Groupe 3	Groupe 2	Groupe 1	Virage à droite	Terre-plein	Passage piétons	Baie V.Gauche	Pave	Carrefour MTQ/Mun	Carrefour municipal	Autres	Industrielle	Agricole	Ilot destructuré	Per. urbain	à Victoriaville	Carrefour en T	Carrefour croix
Accidents LGM	1																													
Voies	0.3912	1																												
Carrefour décalé	0.078	0.0042	1																											
Densité	0.0377	0.0096	0.0352	1																										
Distance du CV	0.165	0.0665	0.0635	0.7293	1																									
Aret partout	0.0189	0.0575	0.0412	0.0973	0.0853	1																								
Aret secondaire	0.1933	0.0889	0.0676	0.0004	0.0161	0.6069	1																							
Feu circulation	0.591	0.3667	0.0675	0.0761	0.1365	0.0428	0.3179	1																						
Groupe 7	0.07	0.0395	0.0099	0.572	0.3952	0.0873	0.012	0.0271	1																					
Groupe 6	0.0016	0.0003	0.0192	0.1136	0.041	0.0208	0.0152	0.0201	0.0478	1																				
Groupe 5	0.2693	0.2397	0.0505	0.6789	0.4452	0.1001	0.0301	0.1551	0.4082	0.154	1																			
Groupe 4	0.0694	0.0355	0.022	0.3816	0.2337	0.0115	0.0187	0.0522	0.1243	0.0468	0.4004	1																		
Groupe 3	0.0211	0.0127	0.0182	0.1935	0.1479	0.0363	0.0598	0.079	0.0452	0.017	0.1457	0.0443	1																	
Groupe 2	0.0801	0.1001	0.0219	0.1868	0.2654	0.0422	0.0176	0.1852	0.1054	0.0397	0.3995	0.1032	0.0375	1																
Groupe 1	0.3669	0.2497	0.1151	0.1806	0.2481	0.023	0.0338	0.1909	0.1163	0.0438	0.3747	0.1139	0.0414	0.0965	1															
Virage à droite	0.4829	0.3156	0.0914	0.0446	0.1263	0.0339	0.2387	0.6077	0.0271	0.0254	0.1438	0.0662	0.0241	0.1152	0.1976	1														
Terre plein	0.1668	0.1245	0.0282	0.0524	0.0374	0.0561	0.2031	0.2509	0.022	0.0189	0.0094	0.0886	0.035	0.102	0.0148	0.2074	1													
Passage piétons	0.3173	0.1391	0.054	0.1581	0.1881	0.0978	0.1818	0.3397	0.099	0.0136	0.0563	0.0307	0.0421	0.0591	0.2024	0.3264	0.1628	1												
Baie de virage à gauche	0.5165	0.322	0.0817	0.0708	0.1165	0.0021	0.2553	0.7512	0.0321	0.0177	0.1322	0.046	0.0167	0.186	0.1484	0.489	0.2941	0.2866	1											
Pave	0.0656	0.0166	0.0091	0.292	0.2414	0.0936	0.0551	0.0529	0.1441	0.0115	0.139	0.1015	0.2038	0.0545	0.0692	0.0564	0.052	0.0913	0.0465	1										
Carrefour MTQ/Mun	0.1332	0.0857	0.0145	0.5278	0.4532	0.1067	0.024	0.107	0.6555	0.0615	0.5263	0.1599	0.0582	0.5978	0.1496	0.0887	0.0242	0.0232	0.0887	0.0942	1									
Carrefour municipal	0.1112	0.1006	0.0069	0.587	0.4994	0.099	0.0218	0.1059	0.7285	0.0656	0.5617	0.1707	0.0621	0.6044	0.1597	0.1011	0.0879	0.0386	0.1024	0.0779	0.9369	1								
Occupation Autres	0.022	0.0286	0.0094	0.1585	0.1184	0.0187	0.0662	0.0098	0.1836	0.0088	0.0751	0.0228	0.0083	0.0194	0.0214	0.0124	0.0181	0.0217	0.0086	0.1555	0.1428	0.1338	1							
Occupation Industrielle	0.0759	0.1121	0.0186	0.0827	0.0038	0.0007	0.0136	0.046	0.0902	0.0173	0.1001	0.1551	0.0164	0.0383	0.0422	0.0278	0.0357	0.0211	0.017	0.0804	0.0545	0.0459	0.0085	1						
Occupation Agricole	0.0637	0.0296	0.0202	0.5498	0.3998	0.0821	0.0149	0.0509	0.6818	0.0455	0.3741	0.0671	0.3412	0.1005	0.1042	0.0099	0.0218	0.1062	0.0289	0.2174	0.3884	0.4769	0.0223	0.044	1					
Occupation Ilot destructuré	0.0522	0.0522	0.0278	0.3193	0.1953	0.0285	0.0003	0.0454	0.1836	0.0094	0.2636	0.3109	0.0033	0.0096	0.0021	0.0335	0.0715	0.0933	0.0399	0.1097	0.0929	0.0853	0.0198	0.0392	0.103	1				
Occupation Perimetre urbain	0.0324	0.0262	0.0414	0.682	0.4536	0.0843	0.0035	0.0564	0.6947	0.0337	0.5042	0.207	0.2473	0.1518	0.0963	0.0236	0.0479	0.1403	0.056	0.2536	0.4024	0.452	0.1276	0.2521	0.6625	0.5905	1			
à Victoriaville	0.0781	0.0646	0.0336	0.6784	0.832	0.0384	0.0275	0.0936	0.4285	0.0552	0.4832	0.2288	0.161	0.235	0.1988	0.0502	0.0788	0.0588	0.0878	0.1763	0.4604	0.5052	0.0883	0.0158	0.4209	0.2022	0.4632	1		
Carrefour en T	0.2599	0.0434	0.2515	0.0131	0.0496	0.3089	0.3859	0.1952	0.0568	0.0656	0.0617	0.0255	0.0382	0.0556	0.0639	0.186	0.1857	0.1803	0.1875	0.0793	0.0568	0.0838	0.0279	0.0154	0.0435	0.0399	0.0147	0.0076	1	
Carrefour croix	0.2573	0.0316	0.0709	0.0678	0.0866	0.3282	0.3234	0.1979	0.0069	0.0548	0.002	0.015	0.0383	0.0339	0.0359	0.1572	0.1266	0.1892	0.1833	0.087	0.032	0.0179	0.0089	0.0324	0.0224	0.023	0.0238	0.0498	0.8691	1

Annexe 9: Validation de la méthode bayésienne avec des débits véhiculaires

Les analyses sont dans les premières étapes et aucune conclusion n'a encore été prise.

Comparaison du nombre total d'accidents des tronçons avec les estimations bayésiennes, une considérant les attributs géométriques et géomatiques et une avec le débit véhiculaire seulement.



Comparaison du nombre total d'accidents des carrefours avec les estimations bayésiennes, une considérant les attributs géométriques et géomatiques et une avec le débit véhiculaire seulement.

